

Requalificação de Prensa Universal de Ensaios

Pedro Baltazar Dias Branco Teixeira

Relatório de Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. Francisco Jorge Teixeira de Freitas



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Março 2017

Aos meus pais

Resumo

No ramo da engenharia mecânica o desenvolvimento de equipamentos de aplicação industrial é um dos principais objetivos.

Em muitos casos, este desenvolvimento pode ser adequadamente atingido não pelo desenvolvimento de máquinas novas, mas pela requalificação de máquinas já existentes incorporando nelas novas tecnologias de automação, solução cujo custo tende a ser bastante reduzido quando comparado com o custo de aquisição de um equipamento novo e tecnologicamente avançado. Este relatório documenta a requalificação tecnológica de uma prensa hidráulica de ensaios mecânicos da marca Shimadzu, propriedade da empresa A. Jorge Lima.

Esta máquina apresentava, no início deste projeto uma estrutura mecânica saudável e portanto um tempo de vida esperado suficientemente longo para se justificar a sua requalificação tecnológica. No entanto, a sua solução de comando e de automação tornavam-na desadequada às atuais necessidades de utilização e de desempenho.

Numa primeira fase do trabalho realizou-se uma pesquisa de informações sobre os componentes originais da máquina e uma análise ao circuito hidráulico. De seguida foi realizado um projeto de requalificação com principal foco nas áreas do comando elétrico, instrumentação e automação.

Após aprovação do projeto e aquisição de componentes necessários, passou-se à sua implementação física das alterações propostas e efetuada a programação do autómato com base no produto final pretendido.

Finalmente realizaram-se ensaios de teste e foi feita uma análise crítica das características funcionais obtidas.

Technological Upgrade of one Universal Testing Hydraulic Press

Abstract

In the field of mechanical engineering, industrial equipment development is one of its main goals. Increasingly, this goal is reached not by the development of new machinery, but by upgrading already existing machines, specially due to the reduced cost of this option when compared with the costs of purchasing new equipment. This report documents the technological upgrade of a hydraulic press for mechanical testing of the brand Shimadzu, property of the company A.Jorge Lima.

This machine show signs of wastage caused by the excessive time period during which it stood inactive, but it maintains a healthy mechanical structure, with a life expectancy long enough to warrant its technological requalification. It includes a functional hydraulic central, but barely any useful electrical equipment.

On an initial phase of this work, information was gathered, concerning the original components of the machine, and an analysis to the hydraulic circuit was performed. Then, a requalification project was designed, focusing mainly on the electrical system, sensing and automation of the machine.

After the approval of the project and acquisition of the necessary components, the work went on to the physical application of the concept and the programming of the control, based on the desired final product.

Finally, some tests were made and the results were analyzed.

Agradecimentos

O principal agradecimento irá para o meu orientador, o Professor Francisco Jorge Teixeira de Freitas, pelo desafio proposto, pela partilha de conhecimentos, pelo apoio na resolução de problemas e pela paciência no acompanhamento durante a realização deste trabalho.

Agradeço também ao Engenheiro Acácio Lima por aceitar disponibilizar a sua máquina para a realização deste trabalho, e ao Engenheiro Pedro Cardoso pelo trabalho que realizou na aquisição dos equipamentos necessários e pela sua paciência ao longo deste trabalho.

De seguida, e com igual importância, gostaria de agradecer ao Sr. Joaquim Silva, técnico do Laboratório de Óleo-Hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, onde foi realizado este trabalho, pelo acompanhamento e pela constante disponibilidade, ajuda, sugestões e críticas.

Agradeço à minha família pelo seu constante apoio às minhas decisões e pelo seu incentivo à conclusão desta etapa da minha vida. Aqui incluo também um agradecimento à Leonor Brito, pelo seu apoio incondicional, principalmente nos momentos mais difíceis.

Finalmente agradeço a todos os meus colegas com quem partilhei o espaço de trabalho, em particular ao Fábio Portela, ao Tiago Abreu e ao José Cardoso pelo companheirismo e ajuda na resolução de problemas, e a todos os meus colegas e amigos que contribuíram de alguma forma para a realização e conclusão deste trabalho.

A todos, o meu sincero Obrigado!

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e objetivos do trabalho	1
1.2	Tipificação de máquinas de ensaio universais	2
1.3	Ensaio realizáveis	3
1.4	Descrição dos princípios funcionais	4
1.5	Leitura e aquisição de dados	5
1.6	Organização e Temas Abordados no Presente Relatório	6
2	Estado Inicial	7
2.1	Análise geral à máquina	8
2.2	Análise do atuador hidráulico	9
2.3	Análise do circuito hidráulico	11
2.4	Definição da máquina	13
2.5	Propostas de Alterações	14
2.5.1	Circuito Elétrico	14
2.5.2	Monitorização da máquina e recolha de informação	15
2.5.3	Segurança	15
2.5.4	Automação e Interface homem-máquina	16
2.5.5	Outros equipamentos e materiais	17
3	Implementação do projeto	19
3.1	Implementação do circuito elétrico	19
3.2	Potencialidades da máquina	22
4	Desenvolvimento de <i>software</i> e desenho da HMI	23
4.1	Funcionamento da máquina	24
4.2	Controlo do movimento	25
4.2.1	Análise da servoválvula	25
4.2.2	Controlo de Força	27
4.2.3	Controlo de deslocamento	29
5	Realização de Ensaio	31
5.1	Análise dos erros de controlo	33
5.1.1	Ensaio 1 – Controlo em Força	33
5.1.2	Ensaio 2 – Controlo em Força com pré-carga	34
5.1.3	Ensaio 3 – Controlo de Posição	34
5.1.4	Ensaio 4 – Controlo de Posição	35
5.2	Resultado de um ensaio	36
6	Conclusões	39
6.1	Trabalhos futuros	39
7	Referências e Bibliografia	40
ANEXO A:	Componentes originais da central hidráulica	43
ANEXO B:	Fichas de especificações técnicas dos componentes hidráulicos existentes	44
ANEXO C:	Tabela de preços estimados para a proposta de alteração	47
ANEXO D:	Esquema elétrico do projeto de montagem	49
ANEXO E:	Tabela de ligações	56

Índice de Imagens

Figura 1-1 - Representação de uma máquina universal de ensaios	2
Figura 1-2 - Exemplo de máquina hidráulica com duas áreas de trabalho.....	5
Figura 2-1 - Central hidráulica no estado inicial	7
Figura 2-2 - Máquina no estado inicial.....	7
Figura 2-3 - Prensa de Ensaaios Universal.....	8
Figura 2-4 - Central Hidráulica	9
Figura 2-5 – Elementos constituintes do atuador hidráulico	10
Figura 2-6 - Esquema de ligações ao atuador hidráulico.....	10
Figura 2-7 - Representação esquemática da equilibragem hidrostática radial	10
Figura 2-8 - Vista em corte do modelo em <i>Solidworks</i> do bloco metálico.	12
Figura 2-9 - Compensador hidrostático de três orifícios.	12
Figura 2-10 - Elementos do compensador hidrostático.	12
Figura 2-11 - Circuito hidráulico da máquina.	13
Figura 3-1 – Face frontal do armário elétrico.....	19
Figura 3-2 - Ligações do armário elétrico ao exterior	20
Figura 3-3 - Interior do armário elétrico (esquerda) e resultado final (direita).	20
Figura 3-4 - Montagem dos sensores (da esquerda: ótico superior, ótico inferior e indutivos).....	21
Figura 3-5 - Montagem do transdutor de pressão.....	21
Figura 3-6 - Montagem do transdutor de posição (esquerda) e do transdutor de temperatura (direita)	22
Figura 4-1 - GRAFCET estruturais do programa (da esquerda: "Funcionamento", "Emergência" e "Geral").	23
Figura 4-2 - Painel da HMI para situação de emergência	24
Figura 4-3 - Menu "Dados Guardados"	25
Figura 4-4 - Gráfico com os resultados experimentais obtidos	26
Figura 4-5 - Diagrama de blocos do sistema	27
Figura 4-6 - Diagrama de blocos do sistema	27
Figura 4-7 - Bloco do controlador PID para controlo de força com os valores iniciais programados	29
Figura 4-8 – Equação da zona linear dos gráficos caudal/corrente e velocidade/corrente.....	29
Figura 4-9 - Valores iniciais programados para o bloco PID de controlo de deslocamento	30
Figura 5-1 - Painel de preparação de um ensaio (esquerda) e painel de erro, quando se pretende iniciar um ensaio indevidamente (direita).	31
Figura 5-2 - Painel "Pré-Carregamento"	32
Figura 5-3 - Painel "Ensaio" (esquerda) e painel "Pós-Ensaio (direita).....	32

Figura 5-4 - Gráfico força-tempo do ensaio 1	33
Figura 5-5 - Gráfico erro-tempo para o ensaio 2	34
Figura 5-6 – Gráfico erro-tempo para o ensaio 3	35
Figura 5-7 - Gráfico erro tempo do ensaio 4	36
Figura 5-8 - Relatório de ensaio, formatado, obtido pelo utilizador	37
Figura 5-9 - Gráfico força-tempo do ensaio, comparada com a referência de controlo.....	37
Figura 5-10 - Gráfico força-deformação do mesmo ensaio.....	38

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Dados relevantes dos componentes hidráulicos	11
Tabela 2 - Parâmetros teóricos de funcionamento.....	14
Tabela 3 - Valores para obtenção da curva característica da servoválvula	26
Tabela 4 - Valores para o cálculo da rigidez média da máquina	28

1 Introdução

O engenheiro mecânico tem, como ponto essencial da sua vida profissional, uma atividade relacionada com o mundo produtivo industrial, nomeadamente um engenheiro ligado à área de automação de equipamentos produtivos. De facto, “automação” e “indústria” são conceitos que não podem ser separados. A cada ano, o papel das indústrias e empresas nacionais vai ganhando relevo e, atualmente, o foco no aumento da produtividade e na redução das despesas é maior que nunca.

Num contexto como este, toda a indústria está dependente do bom funcionamento das suas máquinas e equipamentos. Estes têm vindo a ser sistematicamente alvo de melhorias comportamentais e funcionais graças à incorporação crescente de elementos automáticos que, com o evoluir constante das tecnologias, se têm que confrontar com as novas soluções tecnológicas sob pena de se tornarem desatualizados e incapazes de competir com as novas tecnologias de ponta que estão permanentemente em desenvolvimento e incorporação em equipamentos, sob pena de se tornarem obsoletos.

Uma alternativa à substituição direta da máquina passa por fazer uma requalificação tecnológica da mesma, mantendo muitas das suas características técnicas e estruturais. Isto é possível quando os componentes tecnológicos se encontram desatualizados ou obsoletos mas os componentes estruturais ainda apresentam boas condições. Assim, através de uma requalificação tecnológica obtém-se uma máquina capaz de competir com outros equipamentos existentes no mercado, com um custo bastante mais reduzido do que a compra de um novo equipamento.

No presente capítulo é feito um enquadramento do trabalho, uma breve abordagem a máquinas de ensaios universais, semelhantes à apresentada, referindo as suas soluções construtivas, os tipos de ensaios realizáveis, os seus princípios funcionais e as soluções de comando e medição.

1.1 Enquadramento e objetivos do trabalho

No sentido de promover o contacto de alunos de engenharia com a indústria, surgiu uma proposta por parte do professor Francisco Freitas e do aluno Pedro Teixeira, para a realização de uma requalificação tecnológica a uma máquina hidráulica, propriedade da empresa A.Jorge Lima. Esta proposta surgiu no âmbito da Unidade Curricular de Dissertação do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, opção de Automação, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A máquina, da marca Shimadzu classe UH-A, realiza ensaios mecânicos de tração, compressão e flexão, sendo designada prensa universal de ensaios.

Para a realização deste trabalho, foi transportada para o laboratório de óleo-hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma requalificação tecnológica desta máquina, de modo a que possa ser utilizada na indústria de forma competitiva.

1.2 Tipificação de máquinas de ensaio universais

Ao falar de máquinas de ensaios universais, estamos a falar de um conjunto de máquinas capazes de realizar ensaios mecânicos de tração, compressão e flexão a provetes. O objetivo básico destes ensaios é obter a relação entre a força a que um provete é sujeito e a sua deformação.

De uma forma geral, podemos dividir estas máquinas em dois grupos, consoante a sua fonte de energia: eletromecânicas e hidráulicas. Ambas estas alternativas têm soluções estruturais muito semelhantes.

Possuem uma zona de ensaio delimitada em baixo por uma mesa fixa e em cima uma mesa (ou cabeçote) móvel guiada por colunas cilíndricas de sustentação, como se pode observar na figura 1-1. Associadas a cada uma destas mesas são colocadas ferramentas de preensão dos provetes (garras). Cada provete é fixado entre as duas garras, ou maxilas, ou entre outros meios de fixação adequados à sua configuração. As diferenças surgem na forma como a mesa móvel é movimentada.

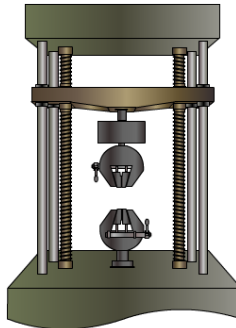


Figura 1-1 - Representação de uma máquina universal de ensaios

No caso de máquinas eletromecânicas, o elemento atuador é um motor elétrico, de velocidade variável, cujo movimento de rotação é transformado no movimento de translação da mesa através de um conjunto de engrenagens de redução e um ou vários fusos. A velocidade da mesa está sempre relacionada com a velocidade do motor, podendo ser utilizado um servo-sistema para a controlar de forma mais precisa.

No caso das máquinas hidráulicas, o movimento da mesa é solidário com o movimento de um atuador hidráulico, que pode ser de simples ou de duplo efeito, colocado por baixo ou por cima da mesa móvel. Nesta solução, a velocidade de avanço é usualmente controlada por uma servoválvula que regula o caudal que chega ao atuador [1].

1.3 Ensaaios realizáveis

Como referido anteriormente, uma máquina universal de ensaios está preparada, à partida, para realizar os ensaios mecânicos básicos, a saber:

- ensaios de tração,
- ensaios de compressão e
- ensaios de flexão.

É importante referir que, apesar destes ensaios poderem ser aplicados a provetes de diferentes materiais, estas máquinas são usadas geralmente para provetes metálicos ou cerâmicos. A forma destes pode ser plana ou cilíndrica, consoante os meios de fixação que a máquina dispõe. Apesar do movimento da máquina ser semelhante para os três tipos de ensaios, as suas características e objetivos particulares são diferentes.

Um ensaio de tração é caracterizado pela aplicação de uma força axial de tração no provete medindo a sua deformação, normalmente até à rutura. A condição de rutura pode constituir uma “rutura frágil” ou uma “rutura dútil”. Deste ensaio é possível retirar algumas informações importantes sobre o material do provete:

- o seu módulo de elasticidade, ou rigidez, ou módulo de Young – valor que relaciona a tensão aplicada com a deformação produzida ($E=F/\Delta l$)
- tensão limite de elasticidade – tensão máxima que o material pode suportar sem sofrer deformação plástica,
- tensão de rutura – tensão máxima que o material suporta - e
- coeficiente de Poisson – coeficiente que relaciona a deformação axial com a radial do provete ($\nu=\epsilon_a/\epsilon_r$)

Em que:

- E – módulo de elasticidade (MPa),
- F – força aplicada (kN),
- Δl – deformação axial do provete (mm),
- ν – coeficiente de Poisson,
- ϵ_a – deformação axial (mm) e
- ϵ_r – deformação radial (mm).

Um ensaio de compressão caracteriza-se pela aplicação de uma força axial de compressão. A maioria dos materiais ensaiados possui uma rigidez muito superior na compressão do que na tração. Isto implica que, de uma forma geral, estes ensaios apresentem cursos de movimento muito inferiores (por vezes perto de zero) e podem nem atingir a rutura devido aos elevados valores de carga necessária. No entanto, a rutura também pode configurar o perfil de “rutura frágil” ou de “rutura dútil”.

Os ensaios de flexão, ou de dobragem, realizam-se de forma diferente. O provete é colocado horizontalmente num suporte, com dois apoios, e o cabeçote move um mandril verticalmente deformando-o a meio do seu comprimento. O objetivo é determinar a resistência do material à flexão comparando a deformação na zona de dobragem com a força aplicada. Devido à fragilidade dos materiais cerâmicos (a sua deformação plástica é quase nula) este ensaio é realizado, quase exclusivamente, sobre provetes metálicos. Em comparação com os

anteriores, este tipo de ensaios apresenta um curso consideravelmente superior e valores de força claramente mais baixos.

Note-se que o curso e os valores de força esperados dependem unicamente da resistência do material às respectivas solicitações e da sua plasticidade sendo as afirmações anteriores baseadas no comportamento da maioria dos materiais.

Para os ensaios poderem ser realizados corretamente, há alguns parâmetros transversais que devem ser respeitados. A força deve ser aplicada de forma contínua e crescente, sem variações bruscas e sem vibração. O provete deverá estar perfeitamente alinhado com a direção da força aplicada, na tração e na compressão, e a velocidade de deformação deverá ser muito baixa de forma a considerar o ensaio estático ou “*quasi-estático*” [18].

1.4 Descrição dos princípios funcionais

No ponto 1.1 foram tipificados os dois principais tipos de máquinas universais de ensaios. Neste ponto, será realizada uma abordagem aos seus princípios funcionais que permitem a realização dos ensaios referidos cumprindo os requisitos de aplicação controlada de força a baixas velocidades.

A solução eletromecânica, como já foi referido, utiliza um mecanismo adequado para converter o movimento de rotação de um motor elétrico num movimento linear. Com a redução correta é possível obter velocidades muito baixas (podendo ser da ordem de $1\mu\text{m}/\text{min}$) e estender esse intervalo a velocidades na ordem dos $100\text{mm}/\text{min}$. Ao mesmo tempo conseguem-se binários bastante elevados (capazes de corresponder a forças até 30kN) devido à relação de proporcionalidade inversa entre estas duas grandezas. Alimentando o motor de modo a ser possível variar a sua velocidade e alterar o seu sentido de rotação obtém-se uma solução bastante eficaz para a realização dos ensaios definidos. É ainda possível substituir esta solução por um sistema de controlo em malha fechada com um servomotor. Deste modo, o controlo da velocidade do motor é feito com maior rigor, podendo no limite atingir velocidade nula em carga. Quando comparadas à solução hidráulica, estas soluções apresentam valores de força máxima relativamente baixos mas gama de velocidade superior. Apresentam ainda uma desvantagem: a necessidade de todo o circuito elétrico, em particular o motor, estar inserido dentro da estrutura da máquina devido ao facto da transferência de energia ser unicamente mecânica.

No caso de uma fonte de energia hidráulica, existe sempre um circuito com um motor elétrico de alimentação de energia a uma bomba hidráulica, que permite a pressurização do fluido de trabalho, e uma válvula proporcional que regula o caudal que é fornecido ao atuador. O atuador, rigidamente ligado à mesa móvel, pode ser de “simples efeito” ou de “duplo efeito”. O atuador de duplo efeito permite uma estrutura mais simples para a máquina ao possibilitar a realização de movimento ativo nos dois sentidos. No entanto, a força máxima disponível e a relação entre o caudal e a velocidade não são necessariamente iguais nos dois sentidos devido à diferença de áreas dentro do cilindro: na câmara principal a área útil é igual à área do êmbolo mas na câmara secundária é subtraído a esse valor da área da haste. Utilizando um cilindro de simples efeito resolve-se este problema mas apenas se consegue vencer força num sentido, sendo o movimento no outro sentido feito por carga gravítica. Logo, para ser possível a realização de ensaios de tração e de compressão com o mesmo atuador, terão que existir duas mesas fixas, separadas pela mesa móvel, como representado na figura 1-2. Ao movimentar a

mesa, esta aproxima-se de uma das mesas fixas ao mesmo tempo que se afasta da outra mesa fixa. Assim é possível realizar uma solicitação de tração relativamente a uma mesa e de compressão em relação à outra. Deste modo garante-se que a força máxima é a mesma nos dois



Figura 1-2 - Exemplo de máquina hidráulica com duas áreas de trabalho

sentidos mas é necessária uma estrutura um pouco mais complexa para a máquina e um maior volume total de trabalho. As soluções hidráulicas permitem alcançar forças de 500kN ou superiores, mas estão limitadas em termos de velocidade a valores normalmente compreendidos entre 0,1 e 8mm/min.

Ambas as soluções são usadas atualmente com bons resultados. A escolha entre elas deverá ser baseada no tipo de provete que se pretende ensaiar e nos requisitos de força e velocidade necessários.

1.5 Leitura e aquisição de dados

Qualquer equipamento de medição é avaliado pelo quão menor é o seu erro de leitura, quão maior é o intervalo de medição permitido e quanto melhor é a forma de apresentação dos dados. No universo das máquinas universais de ensaios a grandeza mais importante a medir é a força, seguida da deformação do provete. Há várias soluções de medição da força.

No caso de máquinas eletromecânicas utilizam-se células de carga ou dinamómetros. Estes equipamentos produzem um sinal elétrico proporcional à força a que estão sujeitos, que pode ser lido e convertido.

Na solução hidráulica pode-se também utilizar transdutores de pressão para se obter uma medição indireta da força através da leitura deste parâmetro na câmara ativa do atuador, multiplicada pela área de trabalho. Apesar de este método estar mais sujeito a erros (a pressão no atuador pode não ser corresponder totalmente à força aplicada no provete devido a forças perturbadoras de fricção) não deixa de ser uma alternativa viável, principalmente se forem tomadas medidas que minimizem as fontes de erro (fricção).

A medição da deformação do provete também pode ser realizada de maneira diferente. O modo mais tradicional aponta para a realização de duas marcas no provete a uma distância definida (L_0). Após o ensaio, junta-se novamente as duas metades do provete (da melhor maneira possível) e mede-se a nova distância entre as marcas (L). No entanto, esta forma apresenta resultados com a incerteza associada ao equipamento usado para medir o provete com o facto de não ser possível juntar as duas metades do provete de forma perfeita após a rutura. Além disso, este método só dá o valor da deformação plástica final do provete, o que,

muitas vezes, é insuficiente. Na maior parte dos casos pretende-se relacionar o valor da deformação com o da força aplicada em cada instante durante todo o ensaio, de modo a ser possível traçar o gráfico tensão-deformação. Para isso, utiliza-se equipamento auxiliar de medição, nomeadamente extensómetros tradicionais ou extensómetros do tipo *clip gauge*. Estes equipamentos são fixos à superfície dos provetes e acompanham a sua deformação produzindo um sinal elétrico. Os tradicionais são descartáveis mas os *clip gauges* têm a vantagem de poderem ser reutilizados, pois não estão diretamente colocados no provete mas sim fixos a ele por garras. No entanto devem ser retirados antes da rutura do provete, o que obriga a uma pausa no ensaio.

Para garantir a correta realização do ensaio, é também necessário ser definida a taxa de aplicação de força, que está relacionada com a velocidade do movimento da mesa móvel através da rigidez, de modo a realizar o seu controlo. Para esse fim, utiliza-se um transdutor de posição que acompanhe o movimento da mesa. Na solução eletromecânica pode-se também utilizar um *encoder* que indica as rotações do motor, sendo possível obter o valor da velocidade final conhecendo-se a relação de redução no mecanismo de transmissão.

Além da forma como são adquiridos os dados, é também importante avaliar como estes são registados e apresentados. Tradicionalmente, o registo dos dados relevantes teria que ser feito em papel, necessitando-se de um operador que observasse os valores indicados pelas máquinas, muitas vezes de forma analógica. Com a tecnologia atual é possível que toda a recolha, aquisição, tratamento e registo dos dados seja realizada pela própria máquina, eliminando-se assim erros de origem humana nestes processos. Este é um dos principais motivos que justificam o trabalho de requalificação de máquinas.

1.6 Organização e Temas Abordados no Presente Relatório

No capítulo presente foi feita uma análise genérica dos principais elementos a considerar numa máquina de ensaios universal.

No capítulo 2 é realizado e apresentado um estudo prévio da máquina alvo deste projeto e seus equipamentos, no seu estado inicial, com especial foco no funcionamento do circuito hidráulico. São também descritas e justificadas as alterações propostas para a sua renovação apresentando-se os equipamentos sugeridos, as suas características e a razão para a sua escolha.

No capítulo 3 é descrita a implementação dos equipamentos adquiridos e as alterações físicas a que a máquina esteve sujeita, com referência às suas novas potencialidades.

No capítulo 4 é apresentado o desenvolvimento do *software* de controlo e comando da máquina.

Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas as etapas para a realização de ensaios e os resultados de alguns ensaios realizados.

2 Estado Inicial

Neste capítulo é abordada a análise realizada à máquina no seu estado inicial e, em particular, aos seus componentes hidráulicos.

A prensa apresentava diversos sinais que indicavam que esteve parada durante um longo período de tempo: corrosão nas mesas e nos veios de guiamento, manchas de gordura e ferrugem nas mesas e sujidade em geral, como se pode ver nas figuras 2-1 e 2-2. Assim, de modo a se poder compreender o funcionamento intrínseco da prensa, foi necessário realizar um trabalho de limpeza geral, desmontagem do circuito hidráulico e pesquisa de informação sobre os seus componentes individualmente, de onde resultaram as fichas técnicas apresentadas no Anexo B.1. É importante referir que, apesar da pesquisa realizada, não foi possível encontrar informações técnicas para alguns equipamentos, sendo a falha mais relevante a que diz respeito à servoválvula.

No presente capítulo, são descritas pormenorizadamente as ações realizadas e as conclusões obtidas neste estudo.



Figura 2-1 - Central hidráulica no estado inicial



Figura 2-2 - Máquina no estado inicial

2.1. Análise geral à máquina

Em relação à prensa hidráulica que é foco deste trabalho, são poucas as informações que existem sobre ela. Como já foi referido, é da marca japonesa Shimadzu, estima-se que tenha sido construída por volta dos anos 80 e sabe-se que tem um limite de força de 300kN. Sabe-se também que apenas estava preparada para ler o valor de força aplicada e que esta grandeza era apresentada de forma analógica através de um ponteiro sobre uma escala mecânica.

A nível estrutural a prensa apresenta várias características típicas de máquinas semelhantes. Sendo atuada por um cilindro hidráulico de simples efeito fixo à estrutura inferior da máquina, tem duas áreas de trabalho diferentes que permitem a realização de tração e de compressão respetivamente, como explicado no ponto 1.4. No entanto, apresenta uma diferença no modo de funcionamento em relação à generalidade das máquinas hidráulicas de ensaio. Tem uma mesa fixa, que é a mesa intermédia, e tem duas mesas móveis interligadas por duas colunas de sustentação. A mesa intermédia, na realidade, tem um movimento de ajuste independente e realizado por um motor elétrico trifásico ($P=0,75\text{kW}$) permitindo o seu ajuste ao comprimento do provete, mas permanece fixa durante a realização do ensaio. A figura 2-3 esquematiza o funcionamento descrito.

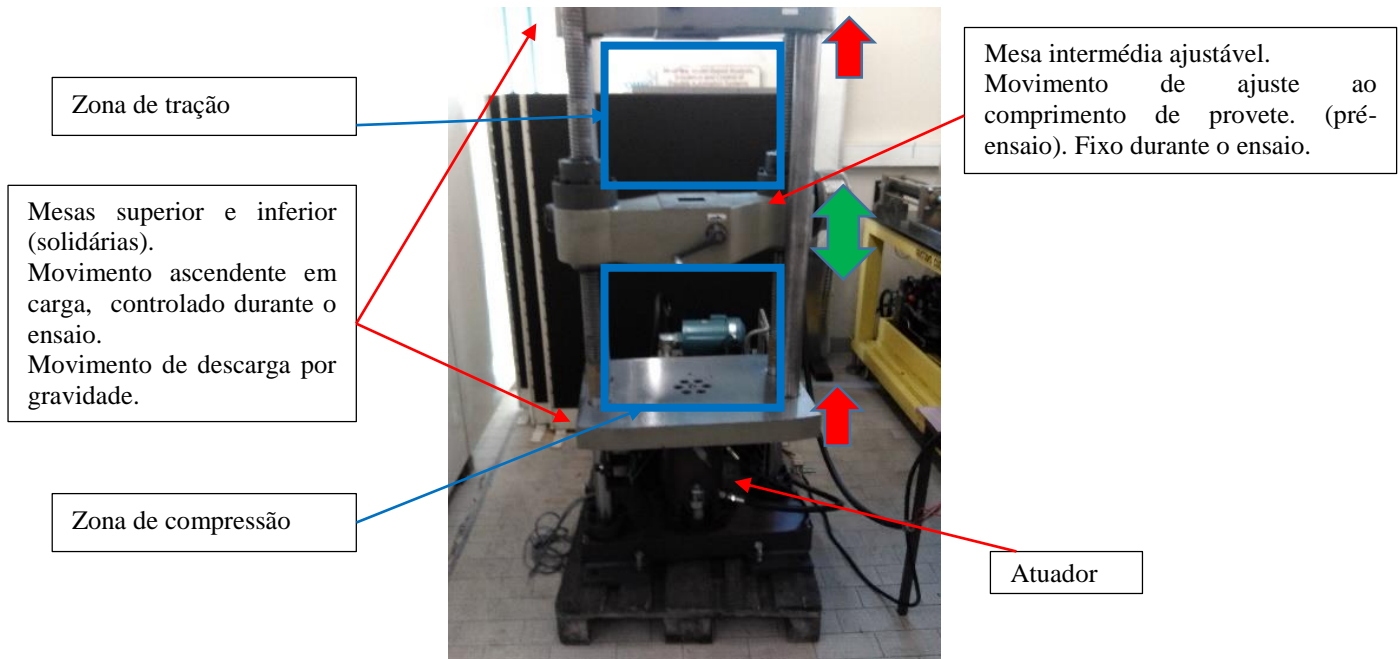


Figura 2-3 - Prensa de Ensaio Universal

Paralelamente, como esperado, a máquina possui uma central hidráulica constituída por um reservatório, uma bomba hidráulica acoplada a um motor elétrico trifásico e um conjunto de válvulas e equipamentos que completam o circuito (figura 2-4).

A nível de equipamentos de aquisição de dados a prensa possui apenas um transdutor de pressão, ligado à câmara principal do atuador, e um transdutor de posição de fio, ligado à base móvel.



Figura 2-4 - Central Hidráulica

2.2. Análise do atuador hidráulico

A nível do atuador hidráulico, embora seja funcionalmente de simples efeito é possível observar nele:

- uma ligação da câmara principal ao transdutor de pressão,
- dois orifícios de ligação à central hidráulica, e
- um orifício ligado a um pequeno reservatório tubular de plástico, para recolha de fluído de fuga

Foram analisadas duas questões importantes:

- o propósito destas diversas ligações, e
- o diâmetro exato do êmbolo – valor indispensável para o cálculo da força exercida pelo atuador, sabendo que apenas é possível ler pressão através do respetivo transdutor ($F = (p - p_{inicial}) \times A$).

Com o objetivo de responder a estas questões, o cilindro hidráulico foi removido da máquina e, após uma observação mais cuidada (figura 2-5 e 2-6), foram retiradas conclusões importantes:

- foi constatado que o atuador hidráulico tem uma solução construtiva de “haste mergulhante”,
- o seu diâmetro interno é de 130mm,
- o atuador não tem qualquer elemento de vedação entre o corpo do atuador e a sua haste.

Esta solução permite reduzir o atrito (fricção) ao mínimo durante o movimento, sendo que este atrito, caso existisse, provocaria um aumento da pressão na câmara do atuador que não estaria relacionada com um aumento da força aplicada no provete, ou seja, seria uma fonte de erro.

A efetiva vedação entre o corpo e a haste do atuador é assegurada pela existência de uma folga radial muito reduzida entre a haste e o corpo, por um comprimento de guiamento muito longo e pela utilização de um óleo com uma viscosidade muito elevada (ISO VG180).

A ligação à central hidráulica na parte inferior do cilindro permite a circulação do fluído quer no avanço, quer no recuo do atuador.

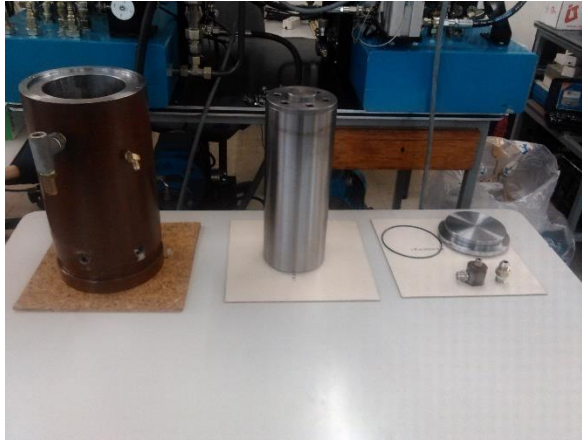


Figura 2-5 – Elementos constituintes do atuador hidráulico

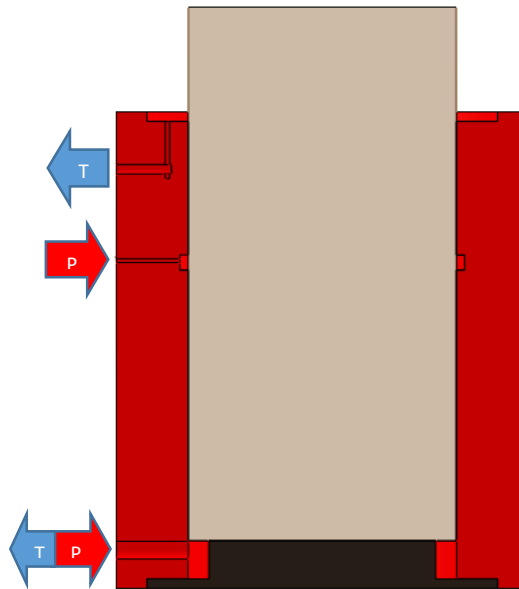


Figura 2-6 - Esquema de ligações ao atuador hidráulico.

A segunda ligação tem como objetivo constituir uma almofada de equilibragem hidrostática entre a haste do cilindro e o corpo durante o seu movimento, garantindo que o avanço é feito de forma concêntrica durante todo o seu curso. Isto é importante porque, qualquer inclinação da haste durante o movimento, provocaria danos na sua superfície piorando a capacidade de vedação, ao longo do tempo.

Finalmente, o orifício ligado ao pequeno reservatório externo faz a recolha de eventuais fugas de óleo que ocorram no topo do cilindro, como esquematizado na figura 2-7

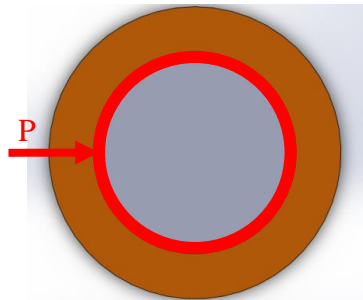


Figura 2-7 - Representação esquemática da equilibragem hidrostática radial

2.3. Análise do circuito hidráulico

Analisando o circuito de acionamento hidráulico, foi possível identificar alguns dos seus componentes com facilidade:

- um motor elétrico de acionamento da bomba,
- uma bomba hidráulica,
- uma válvula de retenção,
- um filtro de pressão,
- uma válvula digital, e
- uma servoválvula direcional.

As informações mais relevantes destes componentes são apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 1 - Dados relevantes dos componentes hidráulicos

	<i>Marca</i>	<i>Referência</i>	<i>Tecnologia</i>	<i>Valores relevantes</i>
Motor Elétrico	DAIKIN	MFP 100/1.7-2-1.5-10	Trifásico	P=1,5kW 1500 rpm
Bomba Hidráulica	SAUER SUNDSTRAND	TFP100/1,7	Engrenagem interior	p _{máx} =210bar cc=1,7cm ³
Válvula de Retenção	UCHIDA Hydraulics	CI-03J	-	-
Filtro de Pressão	TAISEI	F-3501-03-2	-	P _{máx} =350bar
Válvula Digital	DAIKIN	JSC-C01	Assento	p _{máx} =250bar Q _{max} =15ℓ/min
Servoválvula direcional	TSS	403F	-	Q _{nom} =7,5ℓ
Atuador	-	-	Simples efeito de haste mergulhante	d=130mm

No entanto, o funcionamento do circuito hidráulico requer uma análise mais aprofundada. As válvulas estão montadas num bloco metálico que não permite observar as ligações no seu interior e, analisando cuidadosamente este bloco, é possível observar a existência de três ligações ao reservatório o que indica a existência de, pelo menos, mais um componente desconhecido. Para se conhecer claramente o circuito hidráulico, este bloco foi desmontado e modelado no *software* de CAD 3D “Solidworks”. O resultado está esquematizado na figura 2-8. Foi assim possível remover o componente alojado no seu interior, tratando-se de um “compensador hidrostático” de três orifícios com função de válvula de descarga, apresentado nas figuras 2-9 e 2-10.

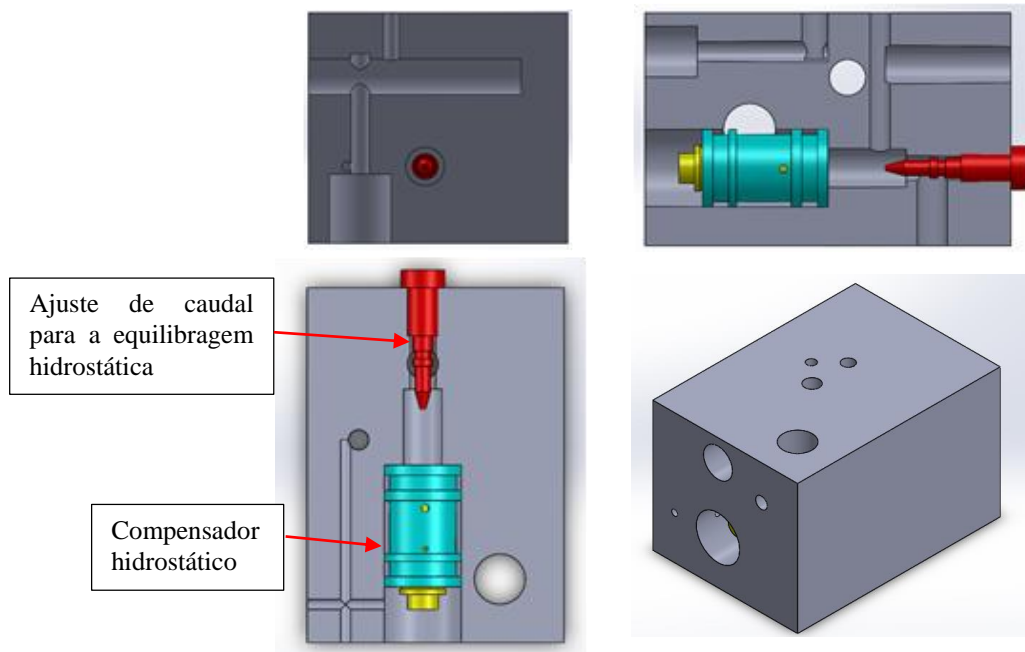


Figura 2-8 - Vista em corte do modelo em *Solidworks* do bloco metálico.



Figura 2-9 - Compensador hidrostático de três orifícios.



Figura 2-10 - Elementos do compensador hidrostático.

Com todas estas informações retiradas, foi então possível elaborar o circuito hidráulico para esta máquina, e que está apresentado na figura seguinte.

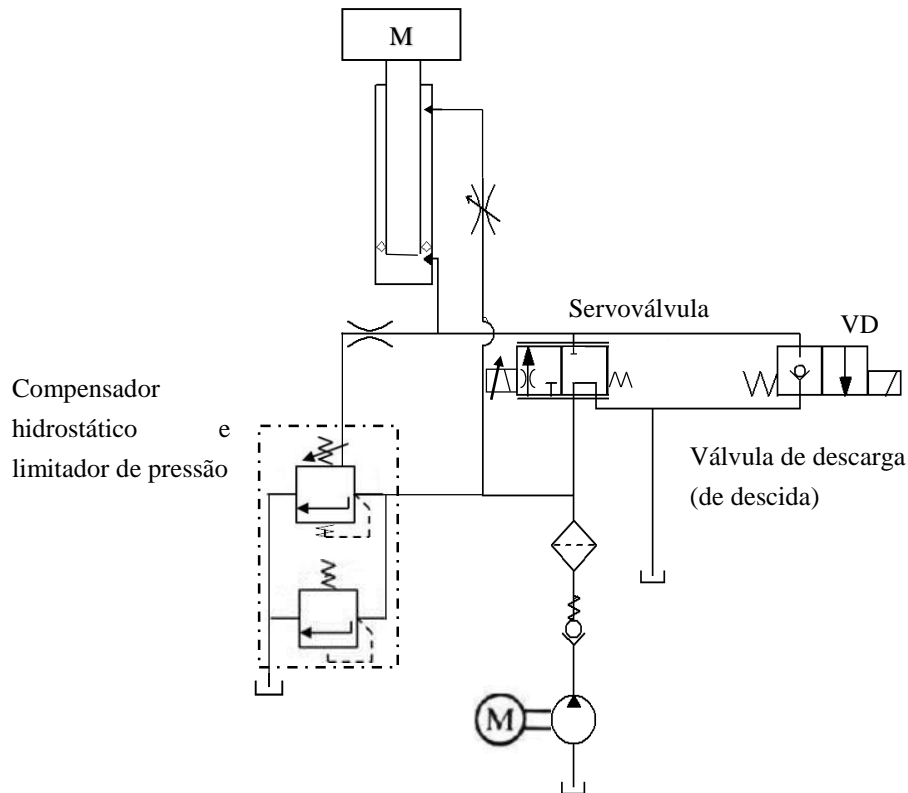


Figura 2-11 - Circuito hidráulico da máquina.

Analisando este circuito retiram-se algumas conclusões importantes sobre o seu funcionamento:

- Em primeiro lugar pode-se observar que o atuador está bloqueado enquanto o motor elétrico se encontra desligado,
- Ligando o motor elétrico, o compensador hidrostático passa a funcionar como válvula de carga, impondo um diferencial de pressão fixo na servoválvula. Desta forma, garante-se que a velocidade de avanço do atuador é apenas função da abertura da servoválvula e não é influenciada pela carga a que a máquina está sujeita;
- Finalmente, atuando a electroválvula monostável (VD), o cilindro recuará por gravidade.

2.4. Definição da máquina

Agrupando as conclusões obtidas e aplicando as expressões matemáticas necessárias, é possível retirar alguns parâmetros de funcionamento teóricos e essenciais para a definição da máquina, que estão apresentados na tabela seguinte [3].

Tabela 2 - Parâmetros teóricos de funcionamento

Intervalo de força para realização de ensaios;	30kN – 300kN
Velocidade máxima (teórica);	3,20 mm/s
Curso máximo de avanço no ensaio;	200 mm
Comprimento máximo do provete;	500 mm
Pressão máxima de funcionamento;	210 bar
Temperatura máxima do óleo;	50 °C
Tempo máximo de funcionamento (em contínuo);	1h

A partir deste ponto já são conhecidas as principais capacidades e limitações da máquina, abrindo caminho ao desenvolvimento de soluções de requalificação que permitam a otimização do equipamento, principalmente ao nível da automação e da medição e tratamento de dados.

2.5. Propostas de Alterações

De seguida é apresentado o projeto de alteração a propor para a necessária requalificação da prensa. O projeto está dividido em subcapítulos consoante as áreas de funcionamento da máquina. No Anexo C é apresentada uma tabela que compila os equipamentos que são propostos adquirir para a implementação do projeto, bem como uma estimativa dos seus preços [4]. No Anexo D está documentado o projeto do circuito elétrico de montagem correspondente às alterações propostas.

2.5.1. Circuito Elétrico

Não trazendo consigo nenhum equipamento elétrico além dos transdutores e motores referidos, foi necessário desenvolver um circuito elétrico de alimentação e de comando de raiz, identificando as ações necessárias e os componentes requeridos para as realizar.

A nível de atuações é necessário que o equipamento seja capaz de:

- comandar o motor elétrico da central hidráulica,
- comandar o motor elétrico responsável pela movimentação da "mesa ajustável",
- atuar a válvula direcional digital (de descarga),
- comandar a servoválvula.

Os motores necessitam de equipamentos que assegurem o seu arranque correto e proteção completa.

Para o motor da central hidráulica sugere-se a utilização de um arrancador progressivo de modo a aumentar o desempenho do motor no arranque, limitando o binário e os picos de corrente e, ao mesmo tempo, eliminar possíveis perigos de arranque em carga, aumentando o

tempo de vida do motor [8]. É também necessário incluir equipamento de proteção elétrica. Neste caso, a consideração de um disjuntor magneto-térmico.

Para o motor da mesa intermédia ajustável, devido à sua baixa potência, um circuito de arranque direto com disjuntor magneto-térmico de proteção é adequado. No entanto, é necessário incluir também um conjunto de contactores inversores (tripolares) para garantir a inversão do sentido de rotação do motor, de modo a possibilitar a movimentação da mesa nos dois sentidos.

Em relação às válvulas, pretende-se que estas sejam atuadas através do PLC, por intermédio de relés.

Para completar o circuito de comando dos motores elétricos é necessária uma fonte de tensão, devido ao facto de a maioria dos componentes serem comandados a 24V DC.

2.5.2. Monitorização da máquina e recolha de informação

Um dos principais objetivos da requalificação é a inclusão de uma capacidade de recolha de dados automática e de monitorização. Assim, sugere-se a substituição do transdutor de posição, devido à sua danificação, mantendo-se o transdutor de pressão.

Além destes parâmetros, é importante também medir a temperatura do óleo, de modo a garantir que as suas propriedades não sejam significativamente alteradas durante o funcionamento, uma vez que é este parâmetro que pode determinar o tempo limite de funcionamento da máquina. Para este fim é adequada a utilização de um transdutor de temperatura que meça a temperatura do fluido no reservatório.

Se se pretender retirar dos ensaios informações relacionadas com a deformação do próprio provete, será necessária a utilização de extensómetros adequados ao tipo de ensaio que se pretende realizar: extensómetro radial e axial para ensaios de tração/compressão e defletómetro para ensaios de flexão.

2.5.3. Segurança

Quando se fala em segurança é importante ter em mente dois contextos: a segurança para o utilizador e a proteção da própria máquina.

No primeiro contexto, o primeiro ponto a analisar é o grau de risco que a máquina apresenta para o utilizador. Sendo uma máquina de movimentos “*quasi*-estáticos” o risco associado à velocidade é bastante reduzido.

Restringindo o uso desta máquina a provetes metálicos elimina-se também o risco de projeção de partes do mesmo na rutura (risco que existe na compressão de materiais cerâmicos). No entanto é importante ter em conta a força que a máquina pode exercer (até 300kN) como fonte potencial de perigo.

A utilização de um botão de emergência, colocado numa posição de fácil acesso e que interrompa o movimento da máquina ao ser atuado, é fundamental para a prevenção de possíveis acidentes que são mais prováveis nos momentos iniciais de preparação de cada ensaio, momentos esses que constituem estados de funcionamento sob comando manual sensitivo.

Em relação à proteção da própria máquina, é necessário identificar as partes móveis e limitar o seu movimento. O movimento da máquina restringe-se ao movimento do atuador hidráulico e ao movimento da mesa intermédia. A limitação deste movimento é importante e pode ser facilmente conseguida com a instalação de detetores de fim de curso em locais adequados. Existe na máquina uma peça que tem um movimento solidário com o do atuador. Neste local, num suporte onde estariam montados os sensores originais da máquina, podem ser montados dois sensores - um numa zona inferior, outro numa zona mais superior - que detetem a passagem desta peça, servindo para identificar se o atuador está numa posição recuada ou totalmente avançada. Neste caso, não é necessária uma distância de deteção superior a 1mm, logo poderão ser utilizados detetores indutivos. Para limitar o movimento da mesa ajustável é necessário colocar detetores em locais que permitam a deteção da mesa quando se aproxima do extremo superior e do extremo inferior. Neste caso poderá ser necessário ter distâncias de deteção de alguns milímetros, logo é recomendado o uso de detetores óticos.

2.5.4. Automação e Interface homem-máquina

A nível de automação, pretende-se equipar a máquina com uma unidade de lógica programável, capaz de a controlar e comandar autonomamente. Propõe-se a utilização de um PLC (*Programmable Logic Controller*) da marca Schneider Electric, modelo MODICON M251. Este PLC é de uma gama baixa de autómatos da Schneider, mas de grande atualidade tecnológica, o que dá garantia de boas prestações funcionais. É do tipo modular, o que permite a escolha de módulos complementares adequados a cada aplicação [5]. Para tal, é necessário prever o número de sinais de entrada e saída analógicos e digitais, bem como as necessidades de comunicação. De seguida é apresentada uma lista com as previsões dos sinais de entrada e de saída analógica ou digital previstos com base no projeto de requalificação.

Entradas Digitais:

- 4 entradas para detetores de fim de curso, 2 indutivos e 2 óticos – referidos no ponto 2.5.3;
- Monitorização das fontes de alimentação – de modo a ser possível identificar avaria relacionada com alguma fonte;
- Botão de emergência – referido no ponto 2.5.3;

Saídas Digitais:

- Comando do motor elétrico da central hidráulica – referido no ponto 2.5.1;
- Comando do motor elétrico da mesa intermédia com mudança de sentido de rotação – referido no ponto 2.5.1;
- Comando da válvula digital do circuito hidráulico;
- Relé do circuito de emergência, cujo contactor suspende o movimento do atuador;

Entradas Analógicas:

- Transdutor de pressão – referido no ponto 2.5.2;
- Transdutor de posição – referido no ponto 2.5.2;
- Extensómetros (radial, axial e defletómetro) – caso sejam utilizados como referido no ponto 2.5.2.

Saídas Analógicas:

- Servoválvula – do circuito hidráulico;

Com base nestas previsões, são necessários três módulos extra:

- 1) módulo de 16 entradas e de 8 saídas digitais [6],
- 2) módulo de 4 entradas e de 2 saídas analógicas de 12 bit [7], e
- 3) módulo de 4 entradas analógicas de 16 bit para variáveis que necessitam de uma maior resolução, nomeadamente os extensómetros [7].

Pretende-se também equipar a máquina com uma HMI (*human-machine interface*) que facilite o diálogo com o operador. A HMI deverá ser compatível com o PLC escolhido, policromática e com um ecrã de 5,7”, no mínimo, de modo a que o tamanho não dificulte a realização de operações [10].

Para completar o circuito é necessária a inclusão de, pelo menos, uma fonte de 24V que realize a alimentação destes equipamentos e relés auxiliares para as saídas digitais do PLC.

2.5.5. Outros equipamentos e materiais

Nesta secção estão incluídos outros equipamentos necessários à implementação da requalificação, não referidos até ao momento.

Em primeiro lugar, para a montagem do circuito elétrico, são necessários alguns órgãos ainda não referidos, em particular:

- (1) quadro elétrico de comando capaz de alojar os equipamentos que fazem parte desse circuito,
- (2) acessórios de montagem como platina metálica, calha passa-cabos e cabos elétricos, e
- (3) conetores e réguas de bornes.

A nível da componente hidráulica recomenda-se a substituição do óleo utilizado e do filtro de pressão, o primeiro devido à perda de propriedades com a passagem do tempo em repouso e o segundo devido às mesmas razões.

3 Implementação do projeto

Após a apresentação e aceitação, por parte da empresa A. Jorge Lima, das propostas de alterações, partiu-se para a sua implementação. Este processo foi dividido em duas grandes componentes:

- seleção e aquisição de equipamentos (*hardware*), sendo a aquisição da responsabilidade de A. Jorge Lima e que é objeto de análise neste capítulo, e
- desenvolvimento e programação de *software* de comando e controlo, documentado no capítulo 4.

De todos os equipamentos recomendados, optou-se pela não aquisição dos extensómetros associados aos provetes, devido à sua carga financeira e ao facto de terem de ser adequados aos tipos específicos de provetes a ensaiar. No entanto, o projeto foi implementado tendo em conta a sua futura possível incorporação.

3.1. Implementação do circuito elétrico

À medida que os equipamentos foram adquiridos, o circuito elétrico foi construído segundo o esquema de montagem apresentado no Anexo D.

No exterior do armário, na sua face frontal, foram colocados (figura 3-1):

- a interface homem-máquina (HMI),
- o botão de emergência,
- um conector USB, e
- o interruptor geral.



Figura 3-1 – Face frontal do armário elétrico

Na sua base foram colocados os conectores de ligação aos elementos exteriores ao armário: detetores de fim de curso, válvulas e transdutores, como se observa na figura 3-2. Finalizada a sua montagem, o quadro foi colocado num suporte móvel, de modo a facilitar a sua movimentação. O resultado é apresentado na figura 3-3.

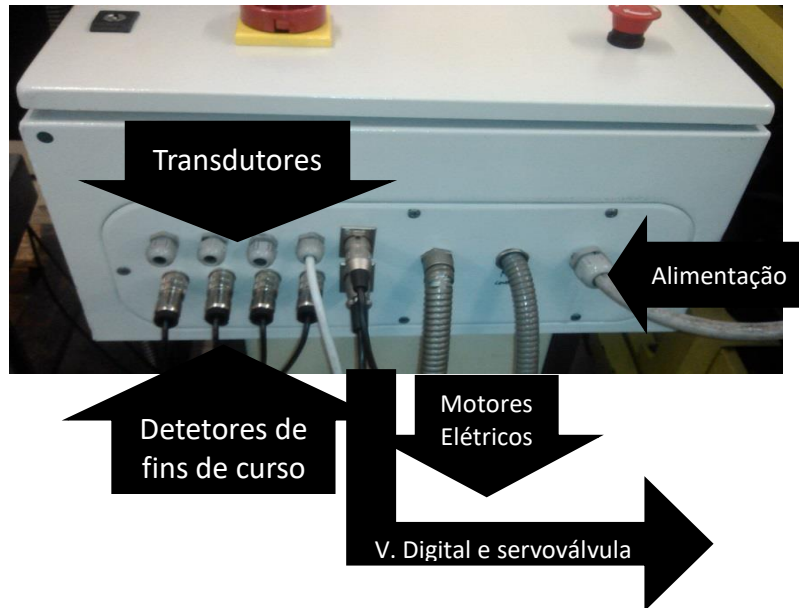


Figura 3-2 - Ligações do armário elétrico ao exterior



Figura 3-3 - Interior do armário elétrico (esquerda) e resultado final (direita).

Seguidamente foram instalados na máquina os detetores de fim de curso (figura 3-4) e os transdutores (figuras 3-5 e 3-6). Os sensores óticos, cujo objetivo é limitar o movimento da mesa intermédia, foram montados na vertical, de cima para baixo, na plataforma superior e na mesa intermédia, servindo de limite superior e inferior respetivamente. Os detetores indutivos foram instalados horizontalmente junto ao atuador, aproveitando um suporte onde estariam instalados os interruptores originais da máquina. Este suporte está colocado de modo a ser possível detetar um obstáculo solidário com o movimento do atuador.

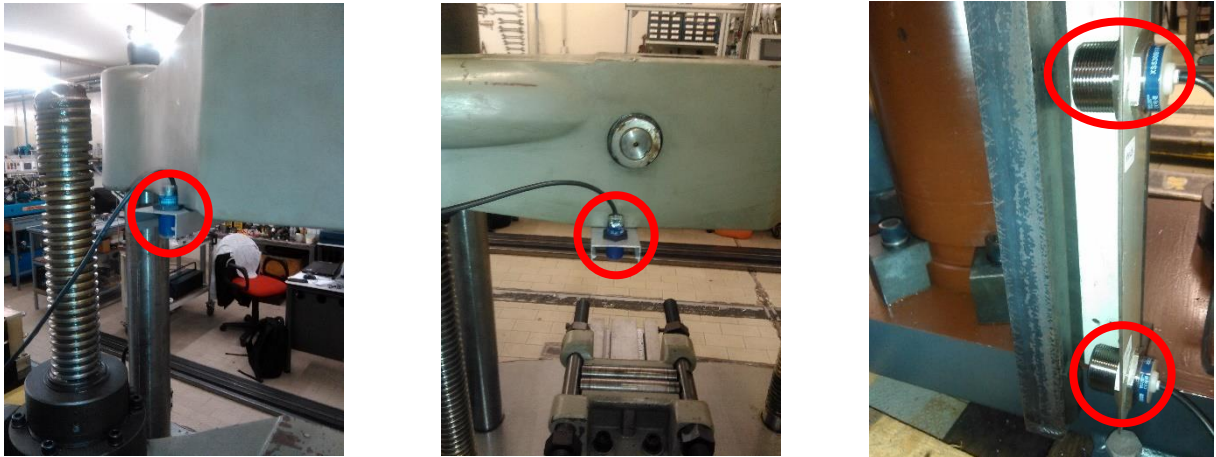


Figura 3-4 - Montagem dos sensores (da esquerda: ótico superior, ótico inferior e indutivos)

Para terminar, foram incluídos os transdutores. O transdutor de pressão permaneceu no seu local de origem sendo necessário adquirir um conector compatível com a sua configuração. Sendo um transdutor extensométrico de saída $1,5\text{mV/V}$ (alimentado a 10V), foi também necessário adquirir um amplificador, normalmente utilizado para células de carga. O equipamento adquirido foi um transmissor 2261 da *PR Electronics*. Este transmissor permite programar o intervalo do sinal de entrada admitido, que foi definido para 0 a 15mV , e transformá-lo num sinal de 0 a 10V .

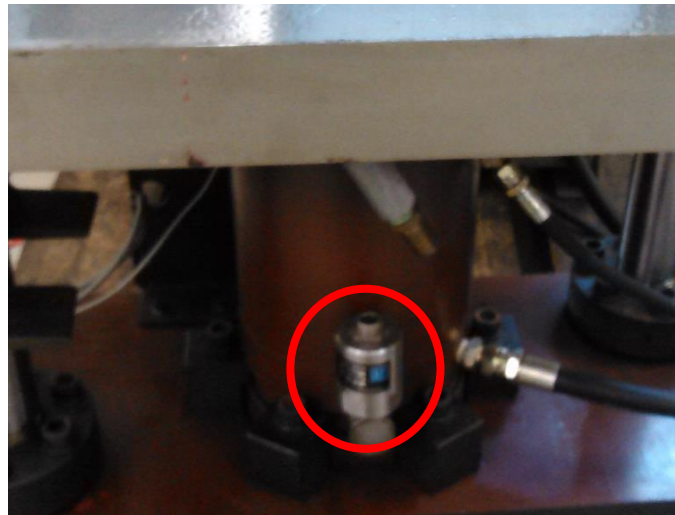


Figura 3-5 - Montagem do transdutor de pressão

O transdutor de posição de fio foi montado no mesmo suporte dos sensores indutivos, junto ao atuador, com o fio preso a um gancho colocado na mesa inferior para esse propósito. Sendo também um transdutor potenciométrico de 1V/V , e tendo em conta as limitações de tensão de entrada já referidas para o PLC (10V), deveria ser alimentado a 10V . No entanto, como o avanço do atuador está limitado, o extensómetro não atingirá o seu valor máximo de saída. Assim, decidiu-se alimentá-lo com 15V , tendo o cuidado de garantir que, na posição de avanço máximo do atuador, o sinal que chega ao autómato não ultrapassa os 10V .

Finalmente, foi montado o transdutor de temperatura num dos tubos de ligação ao reservatório de óleo, utilizando uma ligação em “T” como demonstra a figura.

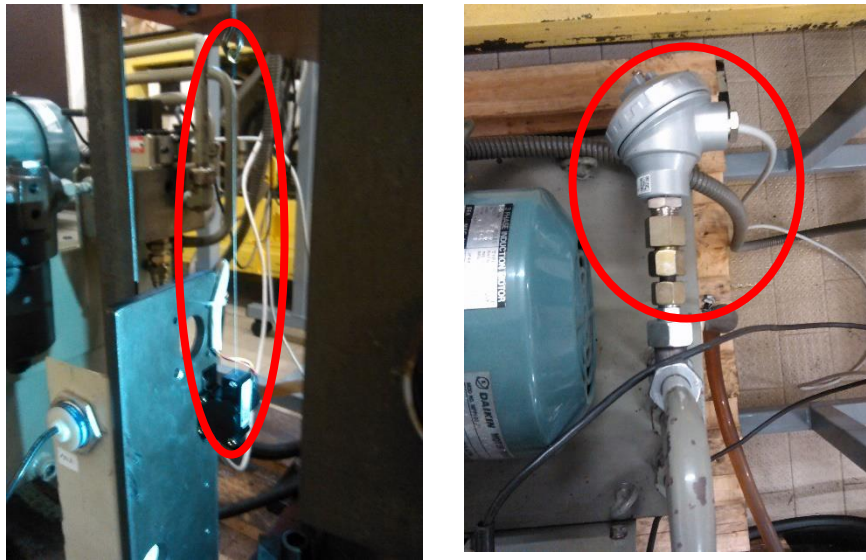


Figura 3-6 - Montagem do transdutor de posição (esquerda) e do transdutor de temperatura (direita)

3.2. Potencialidades da máquina

Após a implementação do projeto de requalificação obteve-se uma máquina renovada com um novo leque de potencialidades. Devido aos transdutores e sensores aplicados é agora possível identificar a posição do atuador e limitar o seu movimento, o que permite o seu controlo em velocidade e em taxa de variação de força.

Com a utilização de um PLC é possível parametrizar e controlar diferentes tipos de ensaios e apresentar os resultados de forma simples na HMI táctil. Além disso, a máquina está agora mais segura, tendo sido equipada com um botão de emergência e com sensores que limitam o seu movimento. O programa completa esta segurança, monitorizando a pressão na câmara principal do atuador e a temperatura do óleo. Apesar de não terem sido adquiridos os extensómetros, por opção da empresa, a máquina está também preparada para a sua instalação e futura utilização.

No capítulo seguinte é abordado o desenvolvimento do programa para PLC e do desenho da HMI. Pretende-se que o programa seja capaz de, além de realizar ensaios, utilizar os dados obtidos de força e de deformação para apresentar todas as conclusões relevantes dos mesmos, em particular, os valores de força e de tensão de cedência, carga de rutura, a rigidez instantânea do provete e a sua deformação final. Pretende-se que estes valores possam ser guardados e transmitidos. Pretende-se também que a máquina possibilite, ao utilizador, guardar os parâmetros dos provetes mais utilizados, para facilitar a parametrização do ensaio, e ainda permita a criação de ensaios pré-definidos.

4 Desenvolvimento de software e desenho da HMI

A última etapa desta requalificação é o desenvolvimento do programa de controlo e de comando da máquina. A programação do autómato foi realizada utilizando o software *SOMachine* da *Schneider Electric*, enquanto que o desenho da interface gráfica com o utilizador foi realizado através do *software Vijeo Designer* do mesmo fabricante. O *SOMachine* permite várias linguagens de programação, das quais foram utilizadas as seguintes:

- SFC – *Sequential Function Chart*;
- CFC – *Continuous Function Block*;
- LD – *Ladder Diagram*;
- ST – *Structured Text*;

Para a organização da estrutura geral do programa construíram-se os três GRAFCET representados na figura seguinte, utilizando a linguagem SFC. Estes GRAFCET correm em simultâneo e são responsáveis pelas três secções principais do programa.

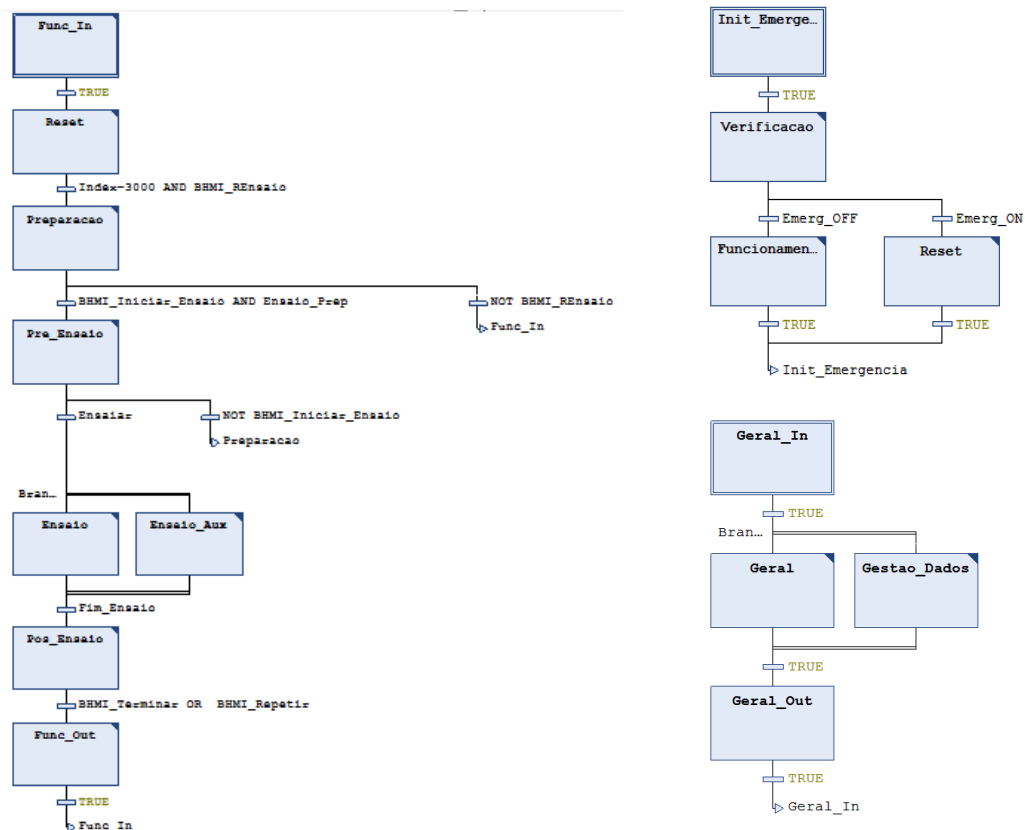


Figura 4-1 - GRAFCET estruturais do programa (da esquerda: "Funcionamento", "Emergência" e "Geral").

O GRAFCET “Geral” é responsável pela leitura e conversão matemática dos valores dos transdutores e dos valores de corrente a enviar para a servoválvula, bem como pela criação de avisos quando os valores lidos atingem certos patamares críticos, nomeadamente quando a temperatura atinge 80% do máximo definido como aceitável (50°C). É também responsável pela gestão de todos os dados guardados na máquina.

Na secção “Emergência” são verificadas as variáveis relacionadas com situações de emergência e este GRAFCET é responsável por colocar a máquina em modo de emergência, modo no qual todos os movimentos são interrompidos, caso alguma destas variáveis o indique e apenas permite retomar ao funcionamento normal quando a situação for resolvida. Na figura seguinte podemos ver o painel que aparecerá na HMI durante uma situação de emergência. O botão “Rearmar” apenas é visível após a condição de emergência ser resolvida. Na zona “*Alarm Banner*”, da figura 4-2, aparecerá o motivo que levou à condição de emergência.

As situações de emergência previstas são:

- atuação do botão de emergência (física ou virtual na HMI),
- excesso de pressão ou de temperatura e
- falha das fontes de alimentação;

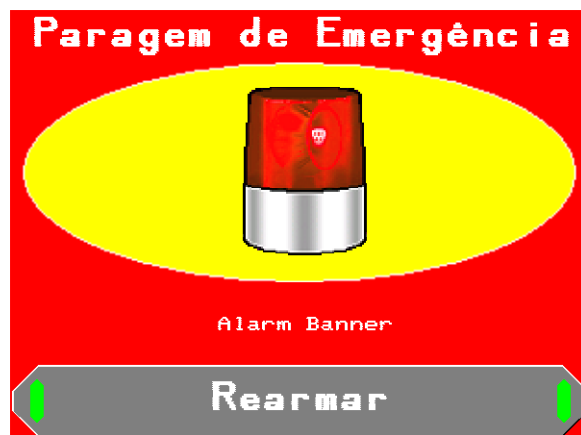


Figura 4-2 - Painel da HMI para situação de emergência

Por fim, o GRAFCET “Funcionamento” destina-se a todas as operações relacionadas com o funcionamento normal da máquina, ou seja, com a realização e controlo dos ensaios.

4.1. Funcionamento da máquina

Ao iniciar a máquina, ligando a alimentação de energia através do interruptor geral, o utilizador tem a opção de escolher entre:

- realizar um ensaio,
- consultar dados guardados, e
- aceder a um menu de definições da máquina.

Este último menu necessita de autorização especial para ser acedido, através de uma entrada de “nome de utilizador” e de “palavra-chave”, não estando, assim, disponível a todos os utilizadores. Nele é possível fazer a gestão dos utilizadores da máquina e a configuração de extensómetros, caso sejam utilizados.

O menu “Dados Guardados” (figura 4-3) é usado para:

- consultar,
- acrescentar, ou
- alterar dados relevantes à realização dos ensaios

Este menu está dividido em dois submenus:

- o primeiro permite fazer a consulta e a edição de parâmetros dos provetes que são utilizados nos ensaios; cada provete é definido por um código que o identifica, pelo material e pelas suas dimensões;
- o segundo é usado para pré-definir ensaios escolhendo o provete, o tipo de controlo (taxa de variação de força ou velocidade de deslocamento) e definindo o seu valor.



Figura 4-3 - Menu "Dados Guardados"

Escolhendo a opção “Realizar Ensaio” e após escolher o tipo de controlo de movimento (entre controlo em força ou em deslocamento), o programa entra na etapa de preparação do ensaio. Esta opção é abordada no capítulo 5.

É importante referir que todos os painéis apresentados ao utilizador na HMI possuem um botão de ajuda, que permite clarificar aspetos do funcionamento do programa e sua utilização, bem como um botão de emergência virtual.

4.2. Controlo do movimento

4.2.1. Análise da servoválvula

Para realizar o controlo do movimento, quer numa fase de preparação quer em ensaio, foi necessário determinar a curva característica de caudal da servoválvula que relaciona o sinal de corrente elétrica de comando com o caudal que por ela passa. Para isso, foi medida a velocidade de avanço do atuador, para diferentes valores de sinal de comando, e convertida para caudal obtendo-se os valores da tabela seguinte.

Tabela 3 - Valores para obtenção da curva característica da servoválvula

datuador=130mm	Velocidade	Caudal
Comando (mA)	(mm/s)	(l/min)
5	0,05	0,04
8	0,23	0,18
13	0,80	0,63
18	1,47	1,17
23	1,85	1,47
28	2,35	1,87
34	2,37	1,88
39	2,53	2,01
44	2,60	2,07
49	2,62	2,08

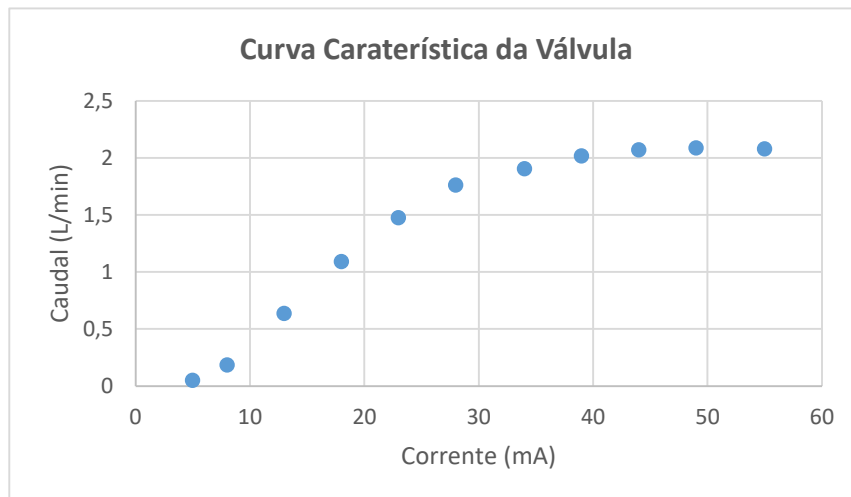


Figura 4-4 - Gráfico com os resultados experimentais obtidos

Esta curva foi obtida experimentalmente ligando uma fonte de alimentação extra diretamente à válvula e medindo o avanço do cilindro durante um intervalo de 10s para diferentes valores de sinal de comando elétrico em corrente. Os resultados obtidos demonstram três zonas bem definidas de comportamento:

- (1) uma zona morta inicial, até aproximadamente 5 mA, que garante uma boa definição da sua posição inicial;
- (2) uma zona de relação aproximadamente linear entre 5 e 30mA, que corresponde à sua efetiva gama funcional, quando inserida nesta máquina;
- (3) uma zona de saturação da válvula a partir desse valor até ao limite de 50mA correspondente à válvula permitir a passagem do seu máximo caudal.

No entanto, o autómato apenas disponibiliza até 20mA nas suas saídas analógicas. Assim, para ser possível comandar a válvula através do PLC é necessário utilizar um conversor de corrente com capacidade de corrente elétrica de saída até, pelo menos, 50mA. Selecionou-se o conversor IC-DR-20 da Axiomatic, que disponibiliza uma conversão de corrente para uma gama de entrada de 4 a 20mA uma gama de saída até 100 mA. Deste modo é agora possível comandar totalmente a servoválvula do circuito hidráulico.

4.2.2. Controlo de Força

Para a realização do controlo em força é necessário considerar o diagrama de blocos que representa o sistema que se pretende controlar.

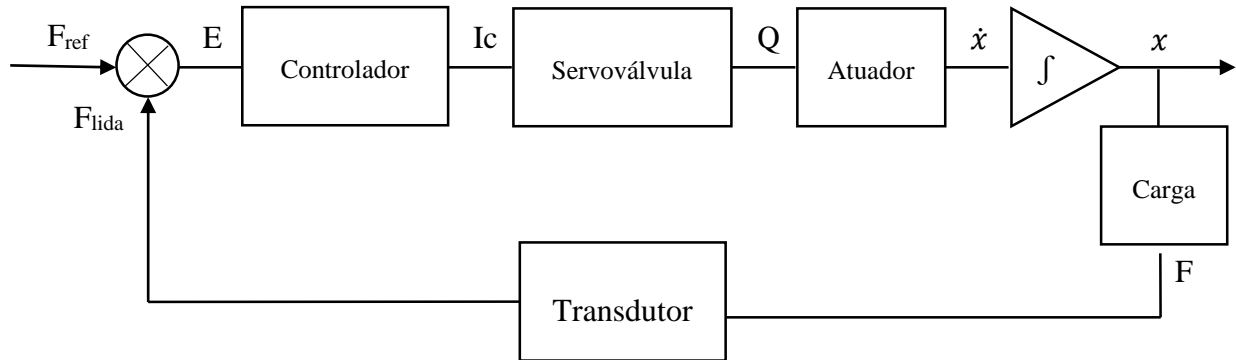


Figura 4-5 - Diagrama de blocos do sistema

Onde:

- F – Força;
- E – Erro de força;
- I_c – Intensidade de corrente de comando;
- Q – Caudal;
- \dot{x} – Velocidade do atuador;
- x – Posição do atuador;

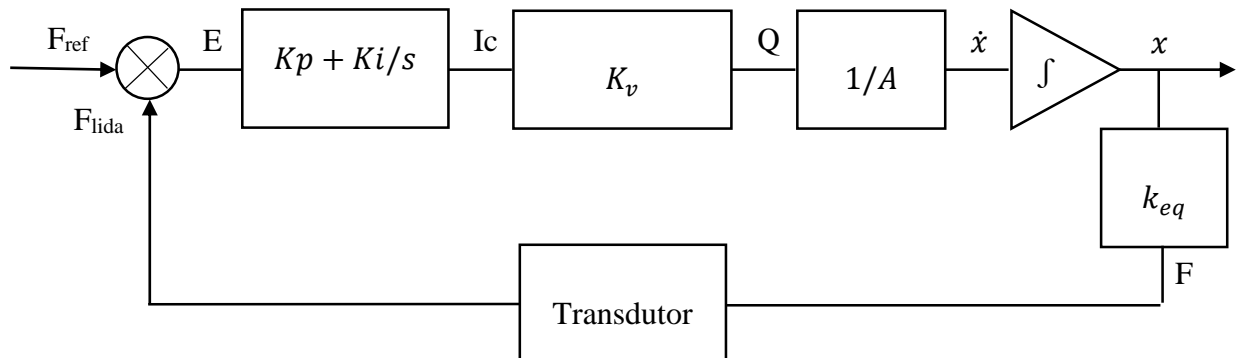


Figura 4-6 - Diagrama de blocos do sistema

Pretende-se que o ensaio acompanhe uma referência de força linearmente crescente, segundo uma taxa definida pelo utilizador:

$$F_{ref} = TaxaForça \times DuraçãoEnsaio + F_{inicial}$$

O valor de Kv é retirado da zona linear da curva característica da servoválvula: Kv=0,08 [(ℓ/min)/mA], para valores entre 5 e 30mA.

O ganho 1/A tem de ser multiplicado por um fator de conversão de unidades.

$$\dot{x}[mm/s] = \frac{Q[dm^3/min]}{A[mm^2]} \times \frac{10^6[mm^3/dm^3]}{60[s/min]}$$

Para a obtenção do valor de k_{eq} sabe-se que:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_{maquina}} + \frac{1}{k_{material}}$$

- k_{eq} – Rigidez equivalente do sistema;
- $k_{maquina}$ – Rigidez da máquina;
- $k_{material}$ – Rigidez do material a ensaiar;

A rigidez da máquina é influenciada pela sua estrutura e pela coluna de óleo no atuador. Utilizando uma fonte de alimentação exterior foi possível realizar movimentos experimentais do atuador que possibilitaram a obtenção deste valor. A servoválvula foi alimentada com um valor fixo e o cilindro foi forçado a atuar sobre um bloco de aço extremamente rígido, medindo a variação na força exercida durante um intervalo de 5s, três vezes consecutivas.

Como a rigidez da coluna de óleo depende do seu comprimento, este ensaio foi realizado com o cilindro numa posição recuada e repetido numa posição avançada. Deste modo, considerando a rigidez do bloco de aço como infinita, foi possível calcular um valor aproximado para a rigidez da máquina.

Tabela 4 - Valores para o cálculo da rigidez média da máquina

i= 15mA	Recuado			
t=5s	F _{inicial} (daN)	F _{final} (daN)	Taxa (kN/s)	Média (kN/s)
Ensaio 1	2000	9500	15	16
Ensaio 2	2000	10100	16,2	
Ensaio 3	2000	10400	16,8	
	Avançado			
Ensaio 1	2000	7060	10,12	10,44
Ensaio 2	2000	7250	10,5	
Ensaio 3	2000	7350	10,7	
Taxa (média)= 13220N/s				
K _{maq} =60090N/mm				

O valor da rigidez do material será sempre dependente do material que está a ser ensaiado. Para a iniciação desse valor, utilizou-se o valor de rigidez de um provete de aço, de 150mm e 25mm² de área de secção transversal, através do seu módulo de elasticidade utilizando a fórmula:

$$k = (E \times A)/L = 35000 \text{ N/mm}$$

- k – rigidez do provete (N/mm);
- k_{eq} – rigidez do sistema (N/mm);
- E – módulo de elasticidade do aço= 210GPa;
- A – área da secção transversal do provete (mm²);
- L – comprimento do provete (mm);

Obtém-se assim:

$$k_{eq} = 22100 \text{ N/mm}$$

Para realizar o controlo no *software* SOMachine, utilizou-se um bloco PID, com os seguintes valores iniciais.

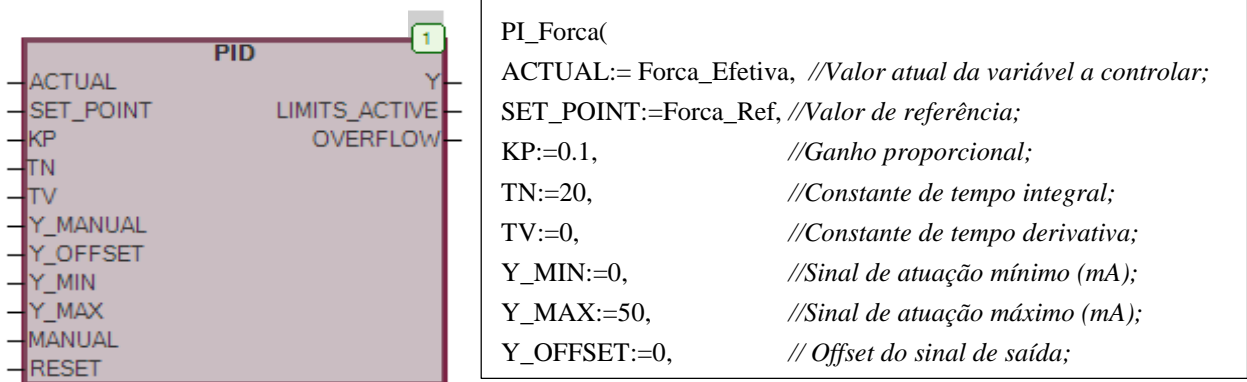


Figura 4-7 - Bloco do controlador PID para controlo de força com os valores iniciais programados

Note-se que o valor da constante de tempo derivativa é igual a zero, pelo que o controlador funciona apenas como PI.

4.2.3. Controlo de deslocamento

Dos valores retirados da curva característica, pode-se de imediato definir um intervalo de valores aceitáveis para as velocidades de ensaio entre 0,05 e 2,35 mm/s. Analisando a curva característica é possível retirar a equação da zona linear, apresentada na figura seguinte.

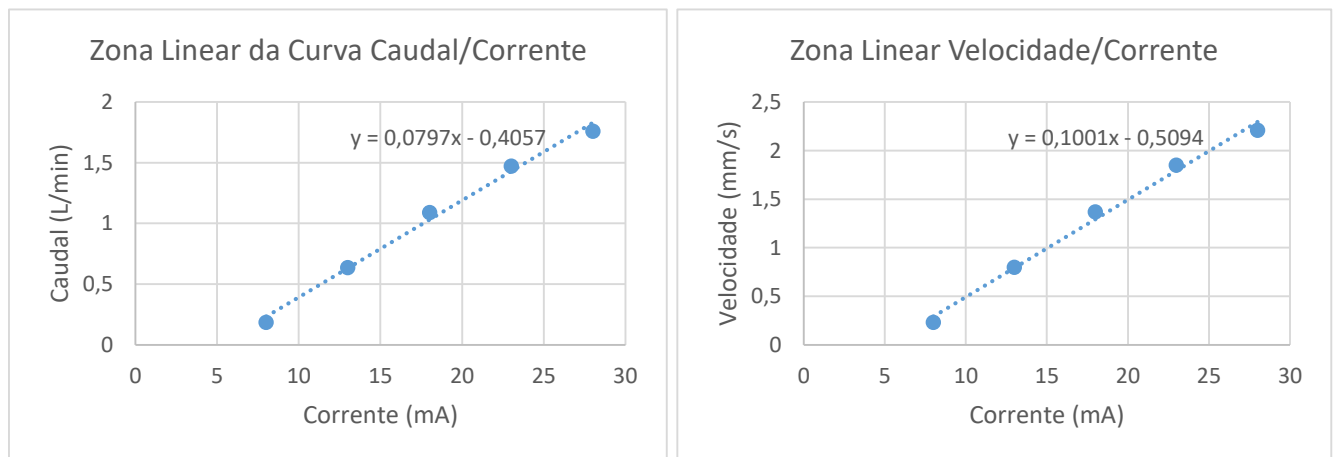


Figura 4-8 – Equação da zona linear dos gráficos caudal/corrente e velocidade/corrente

Como o circuito de hidráulico estaria ajustado de forma à velocidade de avanço depender apenas da abertura da válvula, o controlo de velocidade poderia ficar definido pela equação:

$$i_{válvula} = (v_{ref} + 0,51)/0,10 \quad (\text{cf. Fig.28})$$

- $i_{válvula}$ – Corrente de alimentação da servoválvula (mA);
- v_{ref} – Velocidade definida pelo utilizador (mm/s);

No entanto, devido ao tempo que a máquina esteve parada e à desmontagem realizada ao circuito hidráulico, é possível que o compensador hidrostático tenha perdido o rigor do seu ajuste. Assim, o controlo de velocidade é realizado também em malha fechada usando um bloco PID semelhante ao usado para o controlo de força mas com os seguintes parâmetros:

PI_Forca(
ACTUAL:= POU_Geral.Desloc,	//Valor atual da variável a controlar;
SET_POINT:= Pos_Ref,	//Valor de referência;
KP:=15,	//Ganho proporcional;
TN:=15,	//Constante de tempo integral;
TV:=0,	//Constante de tempo derivativa;
Y_MIN:=0,	//Sinal de comando mínimo;
Y_MAX:=50,	//Sinal de comando máximo;
Y_OFFSET:=0,	// Offset do sinal de saída;

Figura 4-9 - Valores iniciais programados para o bloco PID de controlo de deslocamento

5 Realização de Ensaaios

Neste capítulo são abordadas as etapas necessárias para a realização de um ensaio e apresentados os resultados de alguns ensaios realizados. Pretende-se verificar se o controlo está devidamente parametrizado e corrigi-lo se necessário. É também apresentado o relatório obtido pelo utilizador ao realizar um ensaio comum de tração.

Ao selecionar a opção “Realizar Ensaio”, e após escolher o modo de controlo, o utilizador é confrontado com um painel de preparação, apresentado na figura 5-1. Neste painel, e em primeiro lugar, é feito um ajuste automático da máquina para a posição inicial caso ela se encontre a baixo desse nível. Caso contrário, é possível fazer a descarga da câmara principal do atuador (se necessário). É também possível ligar e desligar o motor elétrico da central hidráulica, definir um valor de pré-carga e definir o ensaio, quer seja por seleção do tipo de provete que será utilizado e definição do seu parâmetro de controlo (taxa de força ou velocidade), quer por escolha de um ensaio previamente definido. Após a definição do ensaio, do valor de pré-carga e estando a máquina na sua posição inicial, o botão “Iniciar Ensaio” passa a verde permitindo o avanço para o painel seguinte (figura 5-2).

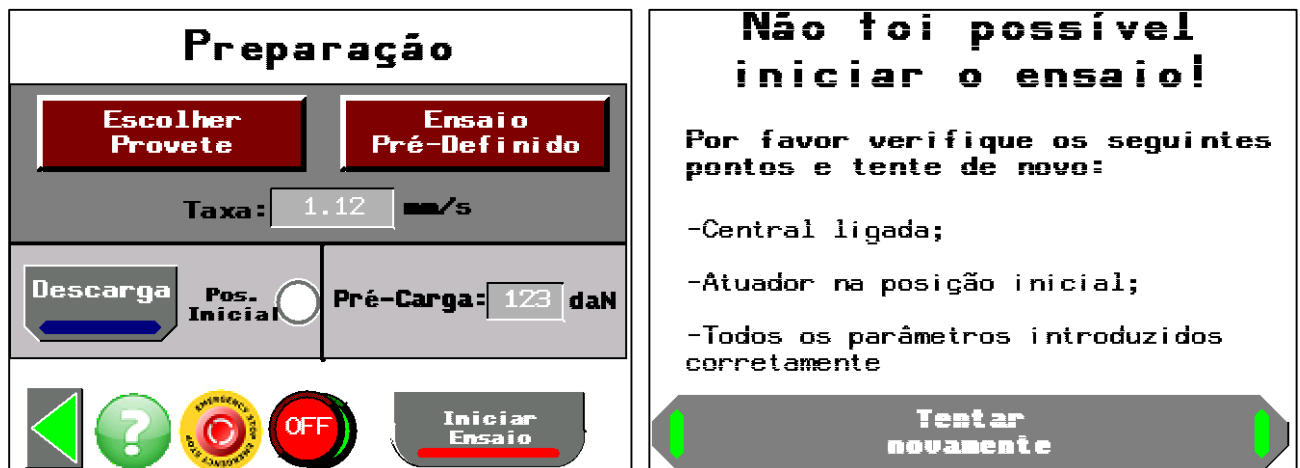


Figura 5-1 - Painel de preparação de um ensaio (esquerda) e painel de erro, quando se pretende iniciar um ensaio indevidamente (direita).

Neste painel o utilizador tem disponíveis as ferramentas para fazer a amarração do provete através de dois botões que realizam o movimento da mesa intermédia enquanto premidos, possibilitando o seu ajuste ao comprimento do provete. Após realizada a amarração, o utilizador deverá premir o botão “Confirmar”, tornando visível o botão “Pré Carga”. Este botão permite realizar a pré-carga manual do provete até ao valor definido anteriormente. O objetivo desta operação é garantir que o provete está devidamente preso e eliminar os erros de força e posição iniciais. Após a sua conclusão, será possível iniciar o ensaio automático.



Figura 5-2 - Painele "Pré-Carregamento"

Durante o ensaio (figura 5-3), o autômato estará a ler e a apresentar os valores de força exercida, avanço do atuador e deformação axial e radial (caso estejam equipados extensômetros) e a registá-los numa matriz. O ensaio pode ser interrompido por ordem do utilizador, por situação de emergência ou por rutura do provete (detetado por uma quebra repentina na força exercida) sendo sempre registada a força máxima atingida durante o ensaio. Terminado o ensaio, são apresentados todos os dados relevantes (tensão/força de cedência, tensão/força de rutura, avanço da mesa, deformação do provete...) e o utilizador poderá optar por realizar um novo ensaio ou voltar ao menu inicial após fazer a descarga da câmara principal, recuando o atuador até à posição inicial. Além disso o utilizador pode escolher guardar os resultados num cartão de memória SD inserido no PLC, em formato documento de texto, que pode ser aberto e analisado em Excel.



Figura 5-3 - Painele "Ensaio" (esquerda) e painele "Pós-Ensaio" (direita)

5.1. Análise dos erros de controlo

Estando completada a programação básica da máquina, foram realizados os primeiros ensaios.

Foram utilizados provetes metálicos planos com as seguintes dimensões:

- Comprimento (L)=170mm
- Largura (W)=25mm
- Espessura (T)=3mm

Não estando disponíveis os extensómetros, foram usados os valores da posição da mesa para medir a deformação do provete. Para a obtenção dos gráficos seguintes foi calculado o erro a partir da diferença entre a força de referência, definida pelo utilizador, e a força lida.

5.1.1. Ensaio 1 – Controlo em Força

Parâmetros:

- Taxa de força: 20kN/min
- Pré-Carga: Não realizada
- TN=20s;

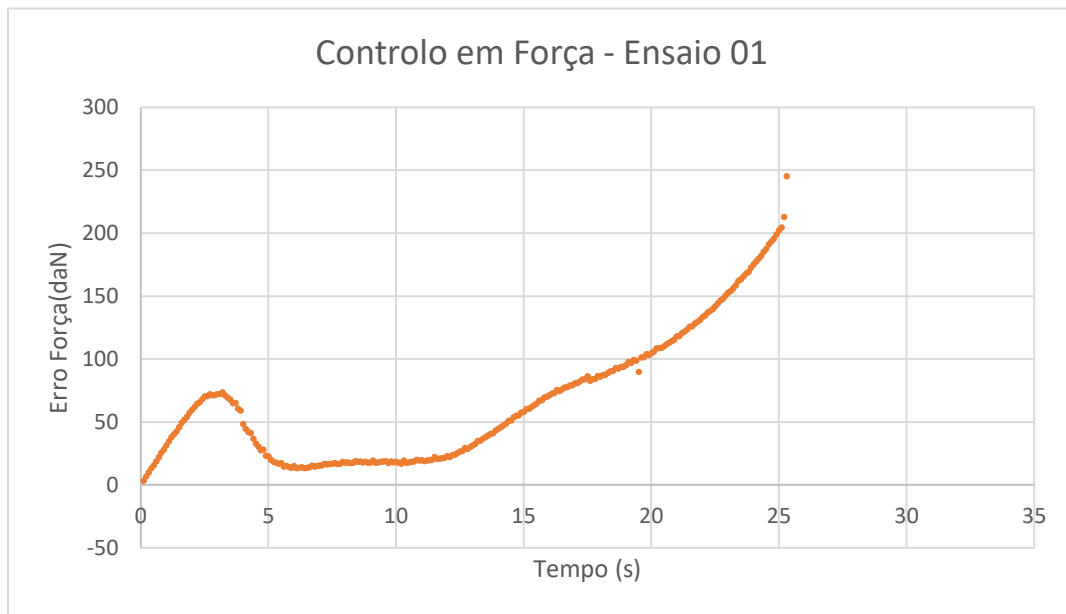


Figura 5-4 - Gráfico força-tempo do ensaio 1

Neste ensaio é possível observar quatro zonas distintas:

- (1) durante os primeiros 5 segundos, onde é possível observar um atraso na aplicação de força em relação à referência pretendida,
- (2) no intervalo de 5 a 12 segundos, onde a força aplicada acompanha a força de referência mas com um erro aproximadamente constante de 15 daN,
- (3) entre os 12 e os 25 segundos, em que a força aplicada deixa de conseguir acompanhar a referência devido à entrada do provete em deformação plástica e
- (4) a partir dos 25 segundos, onde se dá a rutura do provete.

É importante referir que, realizar um ensaio sem pré-carga é já em si uma fonte de erro e tal não deve ser feito, sob o risco de invalidar os resultados do ensaio obtido. Ao realizar a pré-

carga, garante-se que as maxilas estão devidamente acomodadas e previne-se o escorregamento entre elas e o provete.

Numa tentativa de melhorar os resultados obtidos, alterou-se a constante de tempo integral de 20s para 15s, aumentando o contributo da componente integral do erro para o controlo e introduziu-se uma pré-carga de 50daN.

5.1.2. Ensaio 2 – Controlo em Força com pré-carga

Nos ensaios seguintes foram utilizados provetes do mesmo tamanho mas de um material menos resistente. Assim, a taxa de força aplicada foi também alterada em concordância, para o mínimo: 1kN/min.

Parâmetros:

- Taxa de força: 1kN/min;
- Pré-carga: 50daN;
- TN: 15s;



Figura 5-5 - Gráfico erro-tempo para o ensaio 2

Como esperado, neste ensaio observa-se uma melhoria significativa no controlo. O erro inicial foi praticamente eliminado pela pré-carga e observa-se que o erro varia à volta de 0, devido ao aumento da componente integral, até o provete entrar em deformação plástica.

5.1.3 Ensaio 3 – Controlo de Posição

O controlo em deslocamento é principalmente interessante para ensaio de flexão, não sendo, por norma, utilizados para ensaios de tração. No entanto, com objetivo de ajustar o controlador,

foram realizados alguns ensaios com este controlo. O erro foi obtido pela diferença entre a posição de referência (consequência da velocidade definida pelo utilizador) e a posição lida.

Parâmetros:

- Velocidade: 0,1mm/s;
- Pré-carga: 50daN;
- TN: 15s;

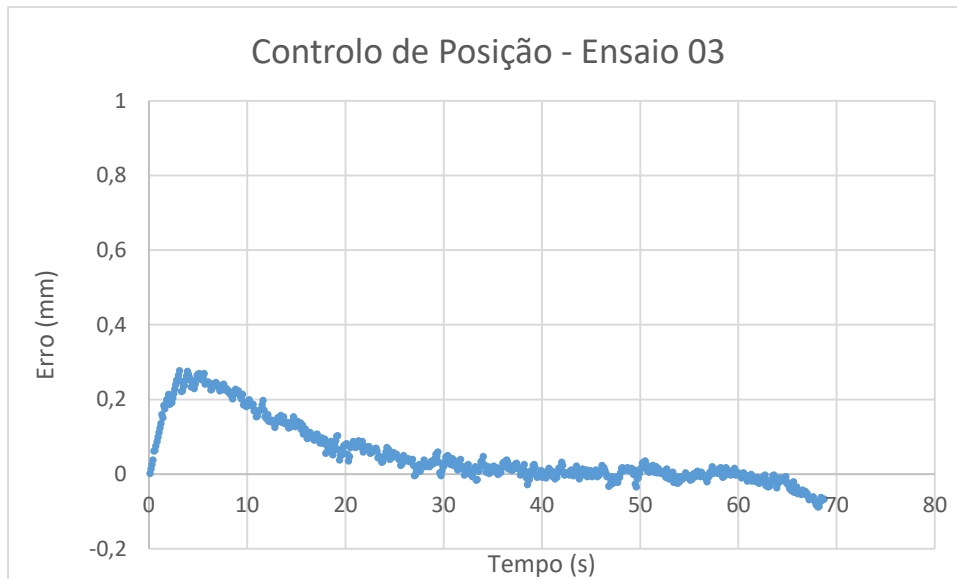


Figura 5-6 – Gráfico erro-tempo para o ensaio 3

Neste ensaio podemos observar uma resposta muito lenta do sistema à referência estabelecida, resultando num enorme erro inicial que demora 30secs a ser anulado. Para corrigir este efeito, diminuiu-se a constante de tempo TN para 5s aumentando o efeito integral do erro no controlo.

5.1.4 Ensaio 4 – Controlo de Posição

Parâmetros:

- Velocidade: 0,5mm/s;
- Pré-carga: 50daN;
- TN: 5s;

Neste ensaio podemos ver uma melhoria significativa do resultado. O erro inicial não ultrapassa os 0,1 mm e tende rapidamente para valores à volta de 0. É importante referir que o transdutor de posição utilizado não tem resolução suficiente para garantir um controlo mais rigoroso, mas que tal também não será necessário, pois o objetivo principal é a realização de ensaios em força.

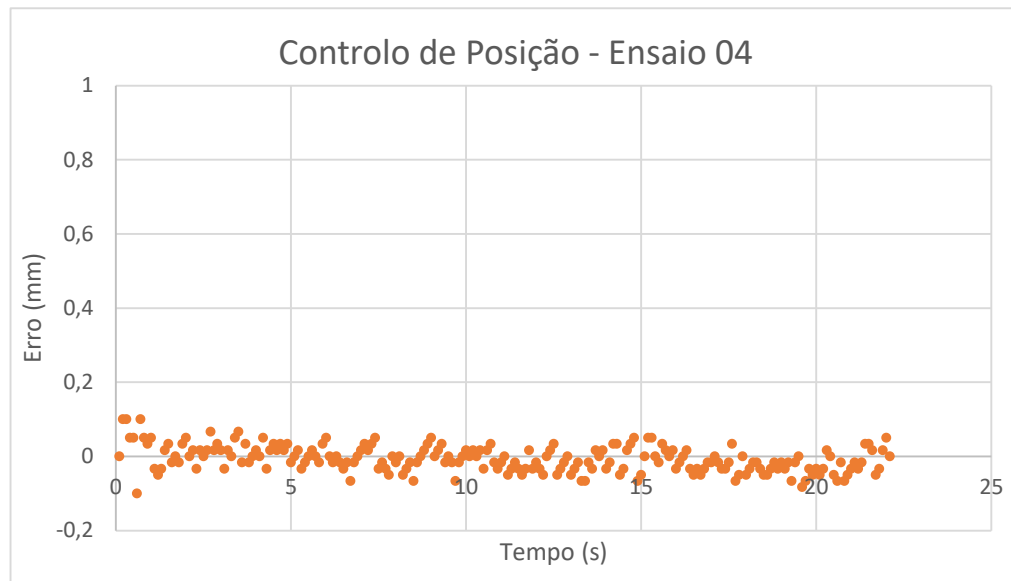


Figura 5-7 - Gráfico erro tempo do ensaio 4

5.2. Resultado de um ensaio

Do ponto de vista do utilizador, o mais importante não é a análise de erro, mas sim a obtenção de informações sobre o ensaio. Um dos objetivos para a requalificação da máquina é a possibilidade de esta fornecer um relatório sobre os ensaios realizados. Como referido anteriormente, este relatório é gravado num cartão de memória SD, em ficheiro de texto, que pode ser aberto num computador com o software *Microsoft Excel*. Este relatório contém várias informações.

Informações registadas pelo utilizador, sobre o provete, antes do ensaio:

- código identificativo,
- material e
- dimensões;

Dados retirados do ensaio:

- força e tensão máximas,
- deslocamento total da mesa e
- deformação final do provete e rigidez (caso sejam utilizados extensómetros);

Além disso, inclui também a data e hora do ensaio e os valores de força, avanço da mesa e deformação, registados em intervalos de 0,1s durante a realização do ensaio.

A partir destes resultados, o utilizador consegue obter facilmente os gráficos força-tempo e força deformação. Não sendo utilizados extensómetros, o avanço da mesa pode ser utilizado como medida de deformação do provete até à rutura.

Como forma de demonstração, foi realizado um ensaio de tração, em controlo de força, tendo-se obtido o seguinte relatório:

Relatório de Ensaio			
Data:	20/02/2017	Hora:	18:52
Código do provete:	teste2		
Material:	aco		
Assinatura:			
Dimensões do Provete			
	L(mm)=	170	
	w(mm)=	25	
	t(mm)=	3	
Propriedades			
Força Máxima (daN)=			193.9553
Tensão Máxima (MPa)=			25.86071
Deslocamento Final (mm)=			11.41
Rigidez (GPa)=			0
Deformação Axial Final (mm)=			0
Deformação Radial Final (mm)=			0
Nota:			
Valores = 0 significa que não foram obtidos.			

Figura 5-8 - Relatório de ensaio, formatado, obtido pelo utilizador

A partir dos valores de força e avanço da mesa (não apresentados por simplificação), é possível obter os seguintes gráficos:

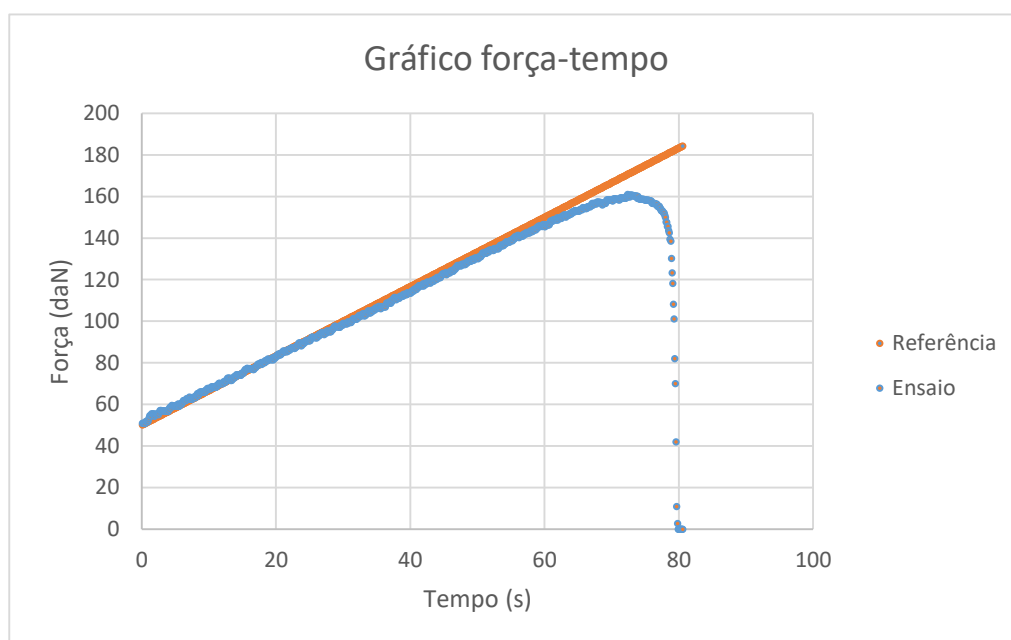


Figura 5-9 - Gráfico força-tempo do ensaio, comparada com a referência de controlo

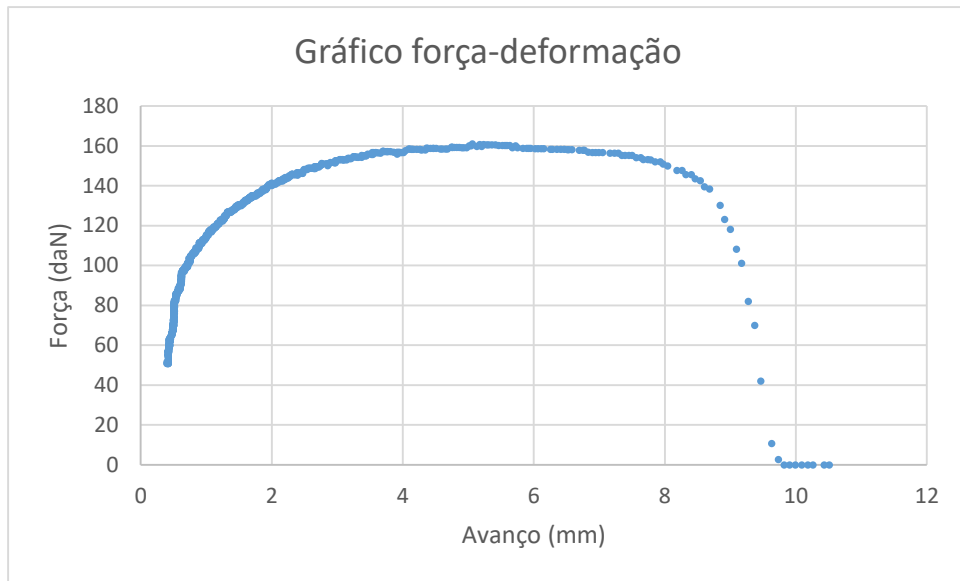


Figura 5-10 - Gráfico força-deformação do mesmo ensaio

A curva obtida tem a forma esperada para um ensaio de tração de um aço comum, mesmo utilizando a posição da mesa como referência da deformação do provete. O gráfico não apresenta os valores durante a pré-carga, mas tais podem ser obtidos por uma regressão linear, sabendo que a relação força/deformação é linear durante a deformação elástica.

6 Conclusões

Apesar das dificuldades e dos atrasos que surgiram ao longo da realização deste trabalho, é impossível não retirar dele um balanço positivo. O objetivo da requalificação foi concluído e foi adquirida uma grande bagagem de conhecimentos, por parte do autor, para a sua vida profissional futura.

Durante todo este trabalho foram surgindo dificuldades e problemas que permitiram um melhoramento de capacidades na sua análise e resolução. A pesquisa de informações sobre os componentes hidráulicos e a análise pormenorizada da sua montagem e funcionamento provaram-se bastante produtivas permitindo, não só compreender o funcionamento da máquina em questão, mas também aumentar os conhecimentos sobre o funcionamento de sistemas hidráulicos industriais no geral.

Foi implementado um sistema elétrico, controlado por um autómato programável, que permite uma grande flexibilidade de funcionamento da máquina. Esta provou estar em excelentes condições de funcionamento e capaz de realizar operações úteis no mundo industrial atual, quando devidamente atualizada a nível tecnológico. Os equipamentos de sensorização instalados, o autómato programável e a interface homem-máquina, permitem transformar esta máquina numa ferramenta de trabalho muito poderosa, com o funcionamento simples e mais seguro.

Durante a implementação das propostas de requalificação, foram adquiridos conhecimentos importantes sobre montagem de circuitos elétricos e sobre a programação de autómatos em máquinas industriais. No entanto, muitos problemas surgiram nesta fase (uns demonstrativos de alguma falta de experiência na fase de projeto, outros impossíveis de prever), o que implicou um atraso na conclusão do trabalho e a necessidade de aquisição de equipamentos adicionais.

O controlo automático foi testado e melhorado experimentalmente com o objetivo de diminuir o erro durante o ensaio. Com o transdutor de posição adquirido, não é possível realizar ensaios em controlo de posição com grande rigor. Se tal for necessário é será necessário equipamento adicional, como um *clip gauge*.

No final, foi possível não só realizar ensaios em força, controlados de forma satisfatória, mas também armazenar os valores de força, avanço da mesa e deformação, bem como informações do provete utilizado num relaótio que, através de um cartão de memória, pode ser transferido, visualizado e analisado num computador usando o software *Excel*.

6.1. Trabalhos futuros

Apesar de a requalificação ter sido realizada de modo a prever a utilização de extensómetros, tal funcionamento não foi testado. Seria importante realizar ensaios utilizando extensómetros e verificar se a máquina mantém o seu correto funcionamento, em particular na fase de recolha de dados correspondentes à deformação do provete.

Além disso, poderá ser interessante melhorar a máquina no campo da comunicação com outros equipamentos. A forma utilizada para a transferência de dados da máquina para um computador é através de cartão de memória, que tem que ser retirado e recolocado manualmente no PLC, sendo, para tal, necessário abrir o armário elétrico. Uma alternativa não concretizada neste trabalho será realizar esta transferência usando um cabo USB e a entrada colocada no exterior do armário elétrico, prevenindo a necessidade de o abrir.

7 Referências e Bibliografia

- [1] **Rocha, Augusto Barata da; José Ferreira Duarte.** *Apontamentos de Tecnologia Mecânica III - Pressas*. Porto: FEUP
- [2] **Freitas, Francisco. 2011.** *Apontamentos de Hidráulica Proporcional*. Porto: FEUP, 2011.
- [3] **Freitas, Francisco. 2011.** *Apontamentos de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos*. Porto: FEUP, 2011.
- [4] **Schneider Eletric. 2015.** *Automação e Controlo – Tabela de Preços*. 2015.
- [5] **Schneider Eletric. 2015.** *Modicon M251 Logic Controllers*. 2015.
- [6] **Schneider Eletric. 2015.** *Módulos de Entradas e Saídas Digitais TM3 – Guia de Escolha*.
- [7] **Schneider Eletric. 2015.** *Módulos de Entradas e Saídas Analógicas TM3 – Guia de Escolha*.
- [8] **Schneider Eletric. 2015.** *Arrancador Progressivo Altistart 01 – Guia de Escolha*.
- [9] **Schneider Eletric. 2015.** *Modicon TM251MESC User's Manual*. 2015
- [10] **Schneider Eletric. 2015.** *Magelis HMISTU855 User's Manual*. 2015
- [11] **Magalhães, António Pessoa de. 2014.** *Apontamentos de Computação Industrial*. Porto: FEUP, 2014.
- [12] **Quintas, Manuel Rodrigues; Paulo Abreu. 2014.** *Apontamentos de Sistemas Eletromecânicos*. Porto: FEUP, 2014
- [13] **Schneider Eletric. 2015.** *Modicon módulo de entradas e saídas analógicas TM3AM6 User's Manual*. 2015
- [14] **Schneider Eletric. 2015.** *Modicon módulo de entradas e saídas digitais TM3DM24R User's Manual*. 2015

[15] **Schneider Electric. 2015.** *Modicon módulo de entradas analógicas TM3TI4 User's Manual.* 2015




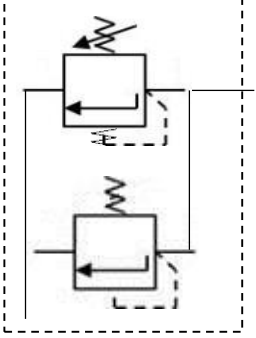
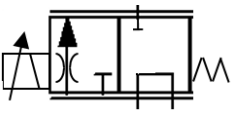
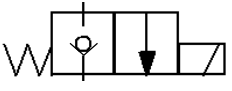

[16] **Shimadzu. 2011.** *Hydraulic Universal Testing Machine UH-X/FX Series.* 2011

[17] **Ogata, K. 2010.** *Modern Control Engineering.* Prentice Hall

[18] **Callister, William; David Rethwisch. 2010.** *Material Science and Engineering 8th Edition.* Wiley

ANEXOS

ANEXO A: Componentes originais da central hidráulica

Descrição	Símbolo Normalizado
Motor elétrico trifásico 1,5kW potência	-
Bomba hidráulica de engrenagem interior, 1,7cm ³ de cilindrada (fixa);	
Válvula de retenção;	
Filtro de pressão;	
Conjunto compensador de três orifícios/válvula de descarga;	
Válvula direcional proporcional (servoválvula);	
Válvula digital;	
Atuador de simples efeito de haste mergulhante – Φ130-350;	

ANEXO B: Fichas de especificações técnicas dos componentes hidráulicos existentes

Conjunto Motor/Bomba

MFP100 series motor pump



- This is a motor pump that TFP type gear pump and electrical motor are built in one body.

Nomenclature

MFP100 / ****** **-** **2** **-** ***** **-** **10**

1 2 3 4 5

(1) Model No.

MFP100 : MFP100 series motor pump

(2) Displacement volume

1.2 : 1.2cm³/rev

1.7 : 1.7cm³/rev

2.2 : 2.2cm³/rev

2.6 : 2.6cm³/rev

3.2 : 3.2cm³/rev

3.8 : 3.8cm³/rev

4.3 : 4.3cm³/rev

7.8 : 7.8cm³/rev

(3) Voltage specifications

2 : AC200V (50/60Hz), AC220V (60Hz)

(4) Motor power output

0.4 : 0.4kW/4P

0.75 : 0.75kW/4P

1.5 : 1.5kW/4P

2.2 : 2.2kW/4P

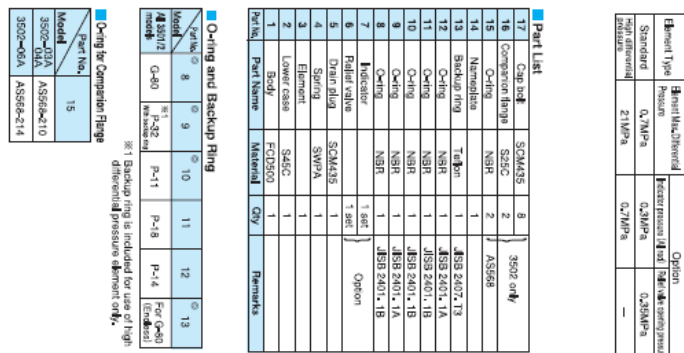
(5) Design number (the design number is subject to change)

Specifications

Model code	Gear pump type	Motor kW/4P				Operating pressure MPa (kgf/cm ²)		Theoretical displacement cm ³ /rev
		0.4	0.75	1.5	2.2	Max.	Rated	
MFP 100/1.2-2-*10	TFP 100/1.2DCI06	○	○	○	—	21(210)	14 (140)	1.2
MFP 100/1.7-2-*10	TFP 100/1.7DCI06	○	○	○	—			1.7
MFP 100/2.2-2-*10	TFP 100/2.2DCI06	○	○	○	○			2.2
MFP 100/2.6-2-*10	TFP 100/2.6DCI06	○	○	○	○			2.6
MFP 100/3.2-2-*10	TFP 100/3.2DCI06	○	○	○	○			3.2
MFP 100/3.8-2-*10	TFP 100/3.8DCI06	○	○	○	○			3.8
MFP 100/4.3-2-*10	TFP 100/4.3DCI06	○	○	○	○	18 (180)	10.5 (105)	4.3
MFP 100/7.8-2-*10	TFP 100/7.8DCI06	—	○	○	○			7.8

(4) : Motor power output/Specifications

Mark	Output/Pole number kW/4p	Motor rated amperes A		
		200V (50Hz)	200V (60Hz)	220V (60Hz)
0.4	0.4	2.4	2.1	2.1
0.75	0.75	3.7	3.4	3.3
1.5	1.5	6.8	6.2	6.3
2.2	2.2	9.6	9.0	8.4

[illegible]

- Model Code**

 - Fluid Type**

Code	Fluid
0	Mineral oil
1	Proportion water/alcohol 40%
2	Water (distilled or deionized)
 - Inner Diameter**


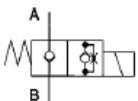
Code	Inner Diameter
3501	3/8" (9.5mm)
3502	1/2" (12.7mm)
3503	3/4" (19.0mm)
 - Case Length**

Code	Case Length
0	100mm (3.94")
1	150mm (5.91")
2	200mm (7.87")
 - Filtration Rating**

Code	Filtration	Media
0	3 microns	C fiber
1	5 microns	
2	10 microns	
3	20 microns	
4	40 microns	Paper
5	60 microns	
6	100 microns	
7	200 microns	
8	400 microns	
9	500 microns	
10	1000 microns	
11	1500 microns	
12	2000 microns	
13	3000 microns	
14	4000 microns	
15	5000 microns	
16	6000 microns	
17	8000 microns	
18	10000 microns	
19	15000 microns	
20	20000 microns	
21	30000 microns	
22	40000 microns	
23	50000 microns	
24	60000 microns	
25	80000 microns	
26	100000 microns	
27	150000 microns	
28	200000 microns	
29	300000 microns	
30	400000 microns	
31	500000 microns	
32	600000 microns	
33	800000 microns	
34	1000000 microns	
35	1500000 microns	
36	2000000 microns	
37	3000000 microns	
38	4000000 microns	
39	5000000 microns	
40	6000000 microns	
41	8000000 microns	
42	10000000 microns	
43	15000000 microns	
44	20000000 microns	
45	30000000 microns	
46	40000000 microns	
47	50000000 microns	
48	60000000 microns	
49	80000000 microns	
50	100000000 microns	
51	150000000 microns	
52	200000000 microns	
53	300000000 microns	
54	400000000 microns	
55	500000000 microns	
56	600000000 microns	
57	800000000 microns	
58	1000000000 microns	
59	1500000000 microns	
60	2000000000 microns	
61	3000000000 microns	
62	4000000000 microns	
63	5000000000 microns	
64	6000000000 microns	
65	8000000000 microns	
66	10000000000 microns	
67	15000000000 microns	
68	20000000000 microns	
69	30000000000 microns	
70	40000000000 microns	
71	50000000000 microns	
72	60000000000 microns	
73	80000000000 microns	
74	100000000000 microns	
75	150000000000 microns	
76	200000000000 microns	
77	300000000000 microns	
78	400000000000 microns	
79	500000000000 microns	
80	600000000000 microns	
81	800000000000 microns	
82	1000000000000 microns	
83	1500000000000 microns	
84	2000000000000 microns	
85	3000000000000 microns	
86	4000000000000 microns	
87	5000000000000 microns	
88	6000000000000 microns	
89	8000000000000 microns	
90	10000000000000 microns	
91	15000000000000 microns	
92	20000000000000 microns	
93	30000000000000 microns	
94	40000000000000 microns	

Válvula digital

Seat style solenoid operated valve

	JIS symbols 	Features <ul style="list-style-type: none"> Fluid adhering phenomena will never happen even if it is used for long time in pressurized condition.
---	---	---

Nomenclature

* - JSC - * 01 - 2 * - 10 - *
 1 2 3 4 5 6 7 8

(1) Nomenclature of applied fluid

No mark : Working oil with petroleum contents
 F : Working oil with phosphoric acid ester

(2) Model No.

JSC : J series seat style solenoid operated valve

(3) Connections

G : Gasket attached type
 C : Cartridge attached type

(4) Nominal diameter

01 : 1/8

(5) Max. operating pressure

2 : 25Mpa {250 kgf/cm²}

(6) Voltage mark (refer to solenoid specifications table)

(7) Design number (design number is subject to change)

(8) Option mark (refer to mark table)

No mark : Lead wire type
 C : DIN connector type (without lump)
 CL : DIN connector type (with lump)

Specifications

Model No.	Nom. Dia.	Max. operating pressure MPa (kgf/cm ²)	Max. flow rate L/min	Max. switching frequency cycle/min	Leak amount cm ³ /min	Weight kg	
						Gasket attached type (G)	Cartridge attached type (C)
JSC-*01	1/8	25 {250}	15	240	0.25 or less	0.97	0.27

(6) : Solenoid specifications table

Voltage mark	Supply voltage	Starting amperes A	Holding current A	Holding power W	Permissible volts variation %	Voltage mark	Supply voltage	Starting amperes A	Holding current A	Holding power W	Permissible volts variation %
A	AC100V (50Hz)	0.362	0.258	17	80~110	D	AC220V (50Hz)				
	AC100V (60Hz)	0.318	0.208	14	90~121		AC230V(60Hz)				
	AC110V (60Hz)	0.356	0.244	18	82~110		AC240V(60Hz)				
B	AC200V (50Hz)	0.183	0.13	17	80~110	N	DC 12V	—	1.48	17.8	90~110
	AC200V (60Hz)	0.158	0.104	14	90~121	P	DC 24V	—	0.74	17.8	90~110
	AC220V (60Hz)	0.178	0.121	18	82~110	Q	DC 48V	—			90~110
C	AC110V (50Hz)					R	DC 100V	—			90~110
	AC115V (60Hz)					S	DC 110V	—			90~110
	AC120V (60Hz)					T	DC 200V	—			90~110
J	AC240V (50Hz)					U	DC 220V	—			90~110

Note) Current or power are at 20°C.

Time ratings	Insulation resistance	Dielectric voltage	Insulation class
Continuous	50 MΩ	AC1500V one minute	B class (H class for coils)

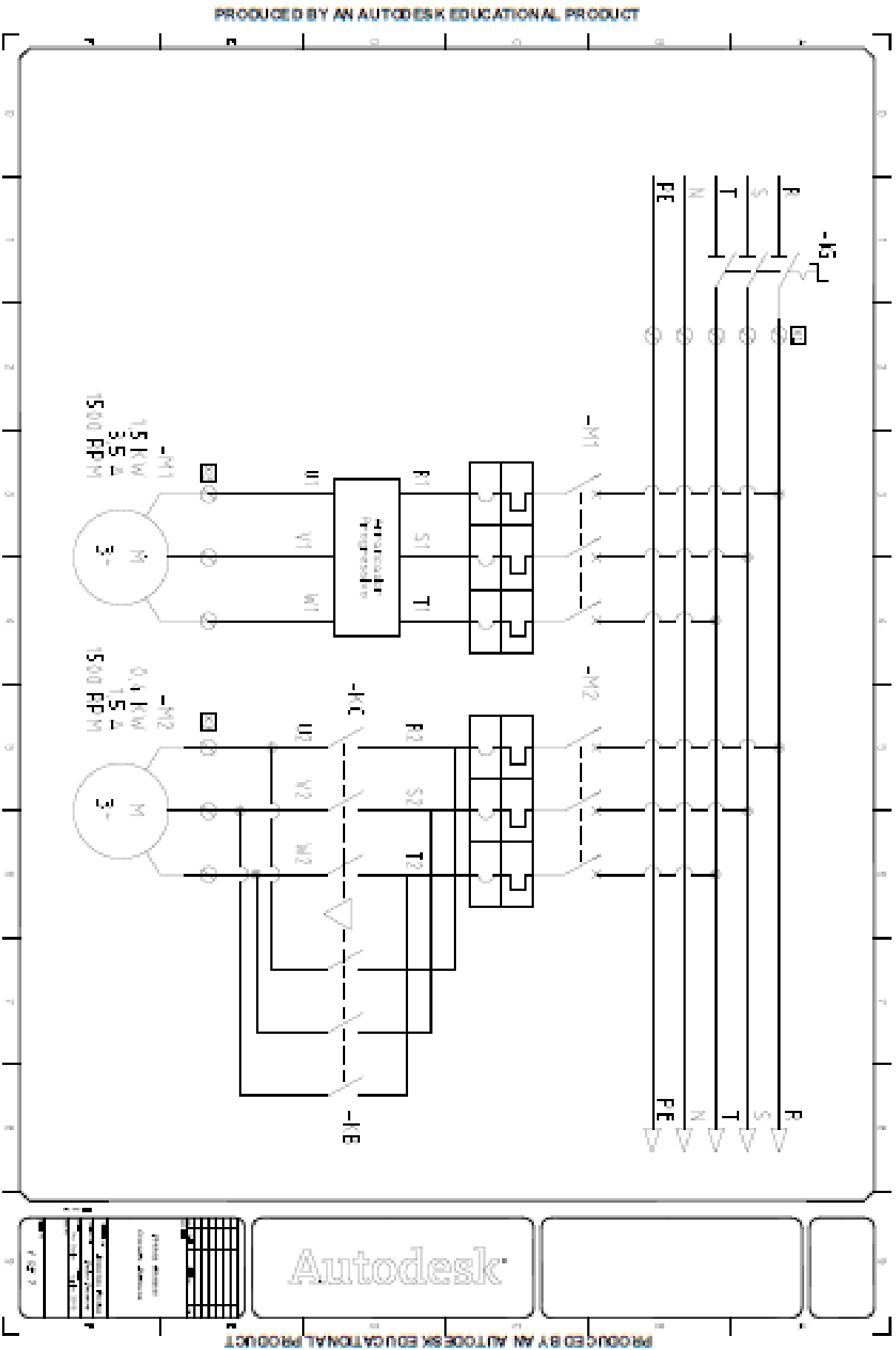
ANEXO C: Tabela de preços estimados para a proposta de alteração

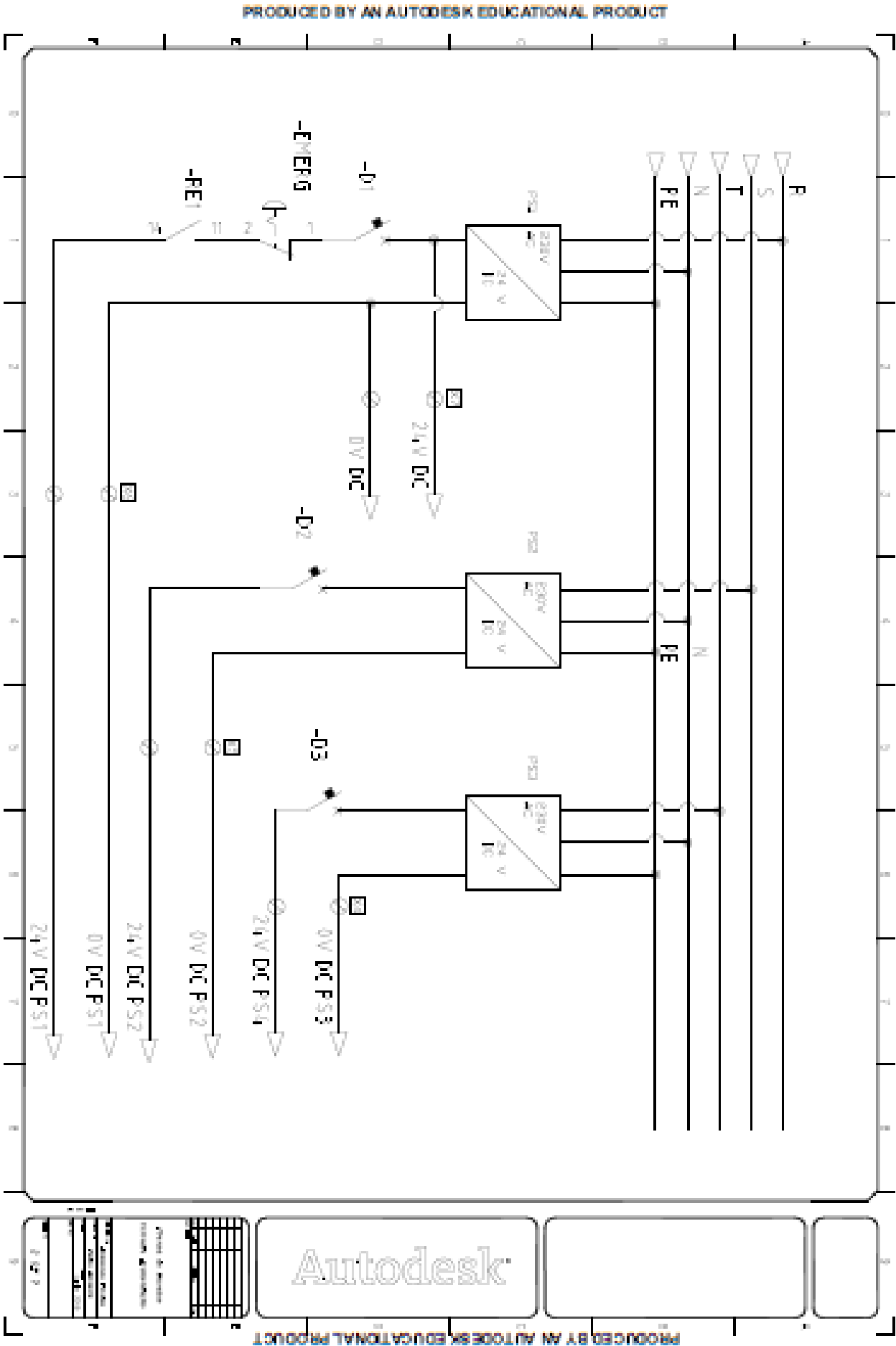
Os preços apresentados são uma aproximação arredondada às dezenas por excesso (sem IVA) dos equipamentos indicados consoante o fornecedor recomendado.

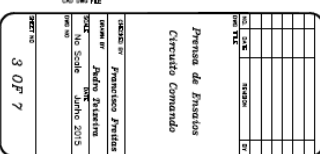
Equipamento					Preço
Circuito de arranque do motor elétrico da central hidráulica - Schneider Electric					300 €
Caraterísticas do Motor	Potência	1,5 kW	Arrancador Progressivo	AST01N206QN	200 €
	Tensão Alimentação	380 V	Disjuntor Magneto-Térmico	GV2ME08	100 €
	Corrente Nominal	3,5 A			
	Número Polos	4			
	Velocidade de rotação	1500 rpm			
Circuito de arranque com inversão do sentido de rotação do motor elétrico da plataforma intermédia - Schneider Electric					200 €
Caraterísticas do Motor	Potência	0,4 kW	Contactores Inversores	LC2D0987	100 €
	Tensão Alimentação	380 V	Disjuntor Magneto-Térmico	GV2ME08	100 €
	Corrente Nominal	1,1 A			
	Número Polos	4			
	Velocidade de rotação	1500 rpm			
Instrumentação					100 €
Transdutor de deslocamento		Mikro-Epsilon WPS-MK30	500mm alcance		30 €
Transdutor de temperatura		Automation Direct RTD1-C06-01			70 €
Automação - Schneider Electric					2460€
Autómato programável		TM251MESC			480 €
Módulos	TM3AM6 – 4/2 entradas/saídas analógicas		12 bit		270 €
	TM3TI4 – 4 entradas analógicas		16 bit		260 €
	TM3DM24R – 16/8 entradas/saídas digitais				230 €
HMI		HMISTU855	5,7"		610 €
Fonte de Alimentação		ABL8RPS 24050 (5 A)	X3		570 €
Relés		RSB1A120BD	X10		35 €
Segurança – Schneider Electric					230 €
Botoneira de Emergência		XALK178E			40 €
Detetores Óticos (x2)		XUB4APANL2	x2		100 €
Detetores de Fim de Curso Indutivo		XS530B1 PAL2	x2		90 €
Outros					+500 €
Quadro elétrico		NSYCRN65250P	600x500x250		260 €
Óleo para Hidráulica (50L)		ISO VG180			100 €
Filtro de Pressão		TAISEI	F-3501-03-2		-

Montagem do quadro, cabos e outros acessórios.		140 €
Instrumentação para Ensaio (caso necessário) - Epsilon		6500 €
Clip Gauge axial	3542 Axial Extensometer	2 000 €
Clip Gauge transversal	3575 Transversal Extensometer	2 000 €
Defletómetro	3540 Deflectometer	2 500 €

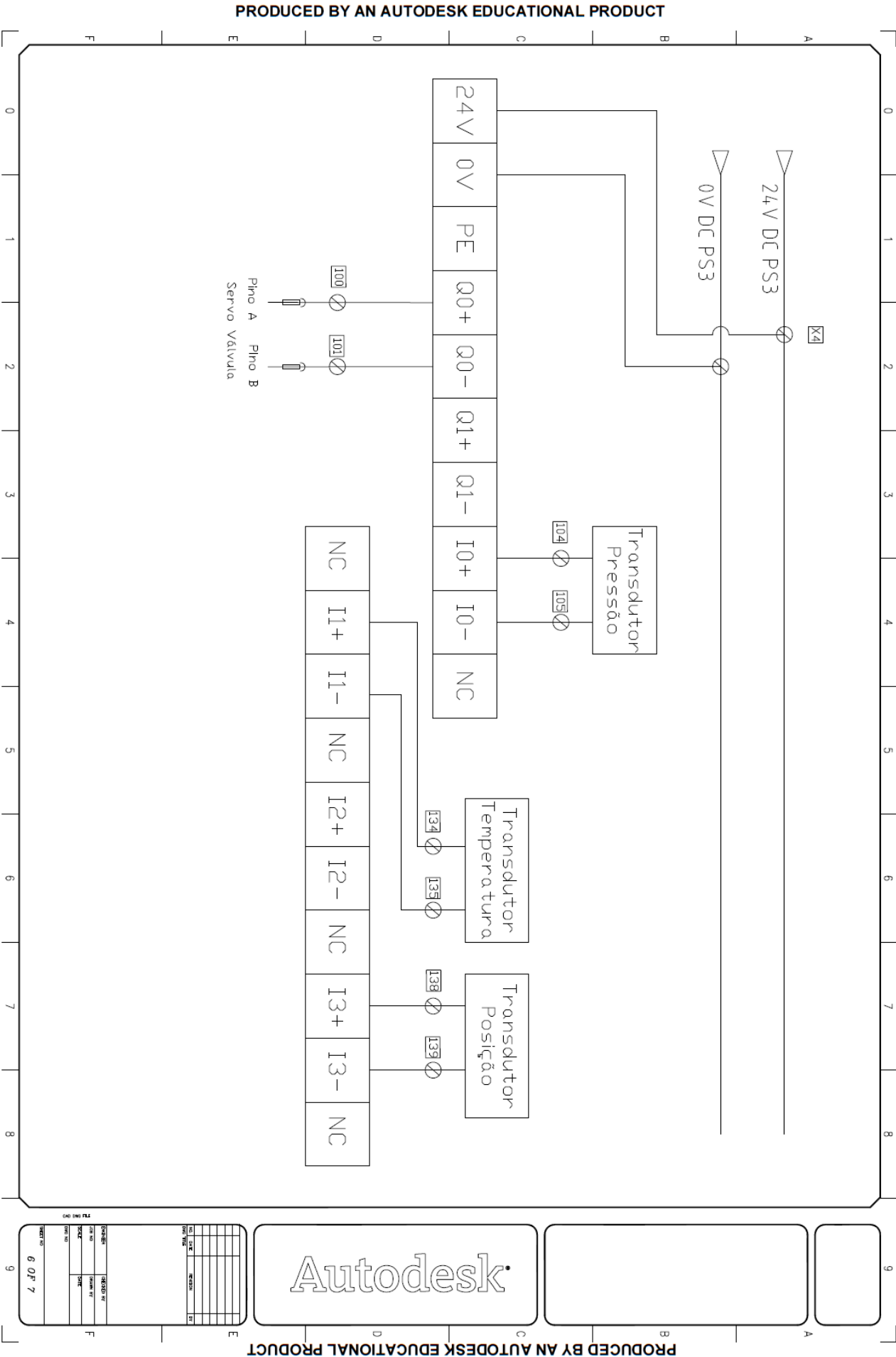
ANEXO D: Esquema elétrico do projeto de montagem





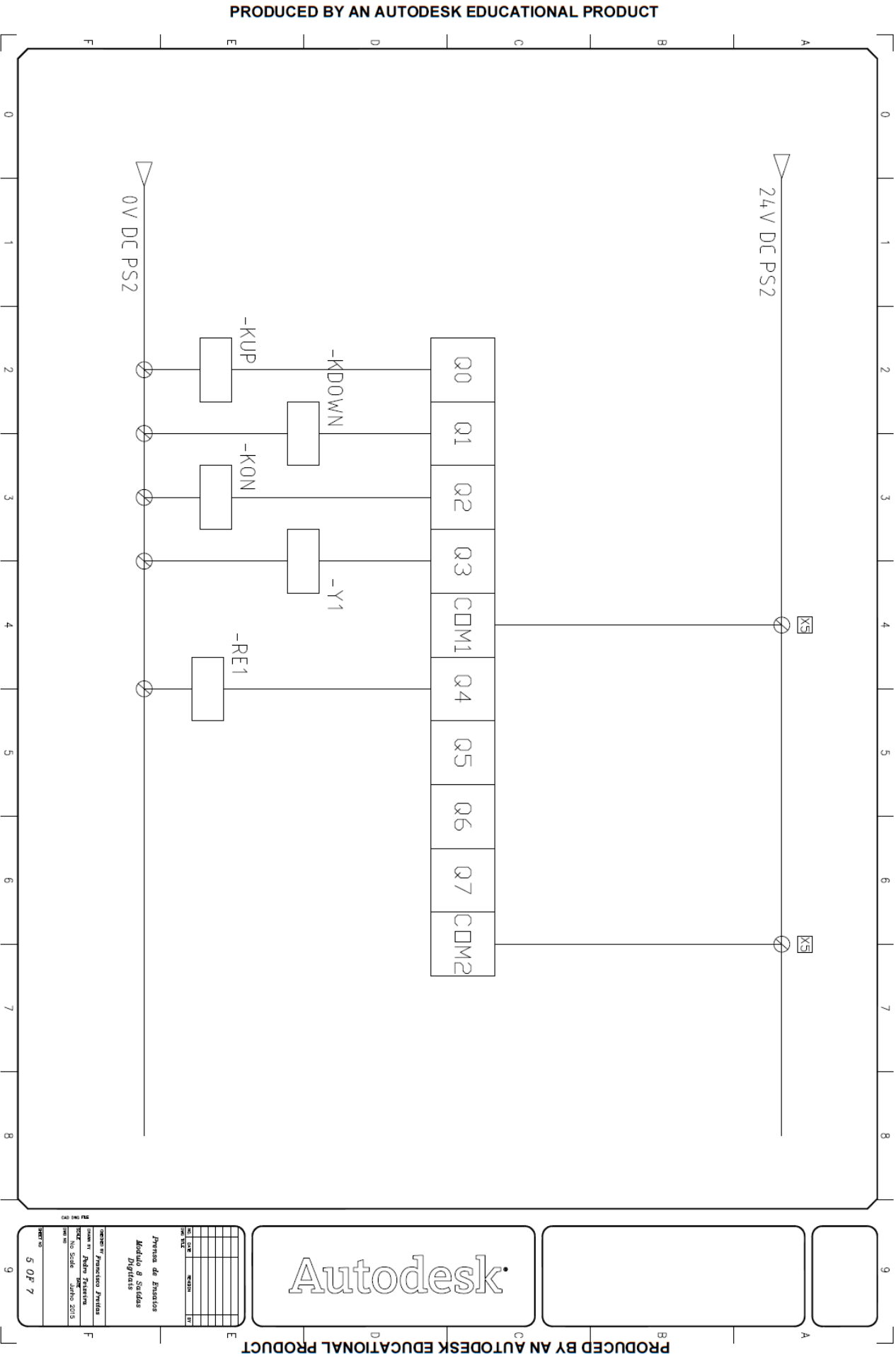


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

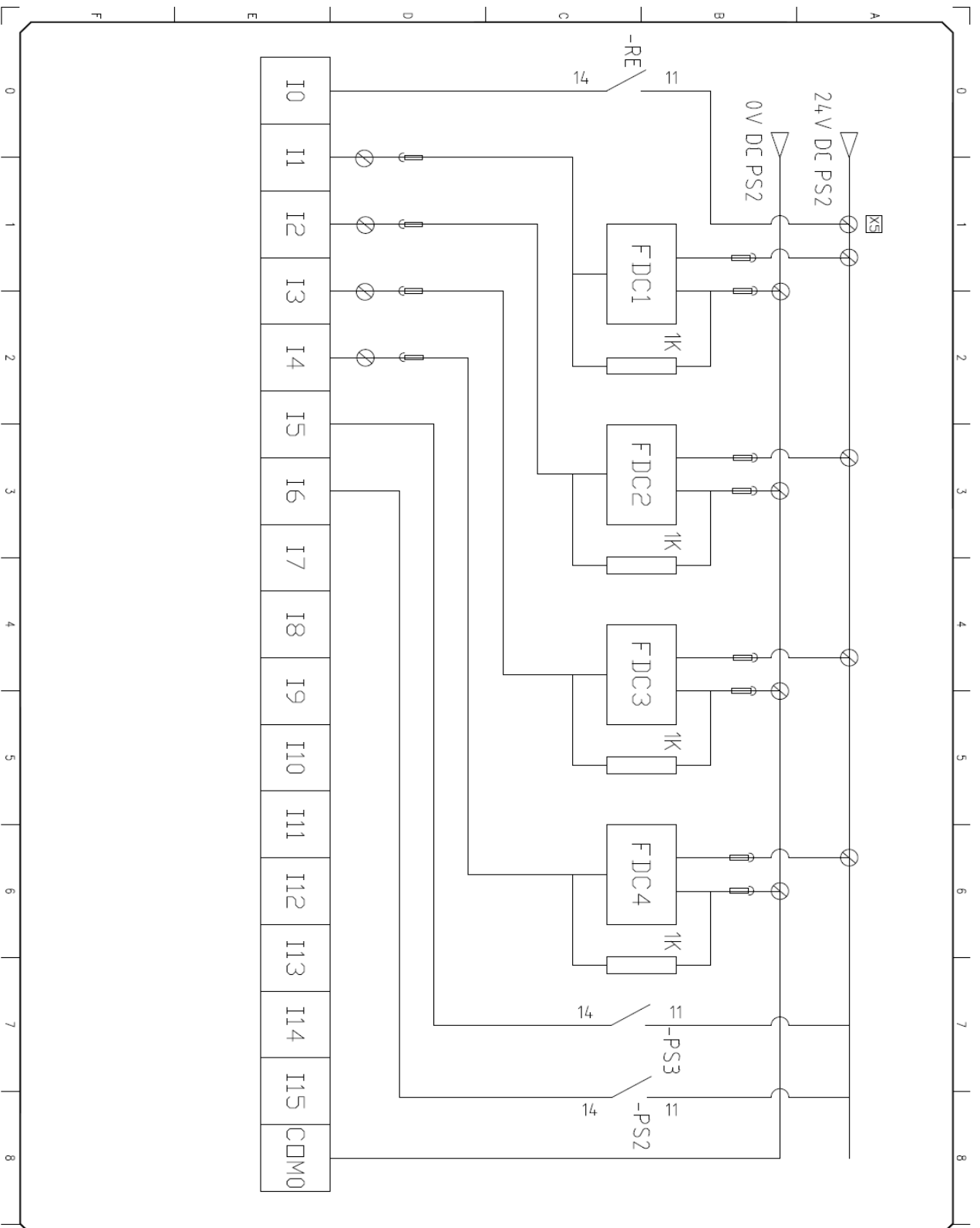


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



ANEXO E: Tabela de ligações**Autômato**

Mód.	Ligação	Função
Módulo de 4 Entradas e 2 Saídas Analógicas 12 bits TM3AM6	24V	Alimentação 24V (X4:A)
	0V	Alimentação 0V (X4:B)
	PE	Terra
	Q0+	Pino A servo válvula
	Q0-	Pino B servo válvula
	Q1+	Não usado
	Q1-	Não usado
	I0+	Transdutor de pressão
	I0-	Transdutor de pressão
	NC	Não ligar
	NC	Não ligar
	I1+	Transdutor de temperatura
	I1-	Transdutor de temperatura
	NC	Não ligar
	I2+	Não usado
	I2-	Não usado
	NC	Não ligar
	I3+	Transdutor de posição
	I3-	Transdutor de posição
	NC	Não ligar

Autômato

Mód.	Ligação	Função
Módulo de 16 Entradas e 8 Saídas Digitais TM3TI4/G	I0	RE - Monitorização de botoneira de emergência
	I1	FDC1 – Sensor superior da mesa intermédia
	I2	FDC2 – Sensor inferior da mesa intermédia
	I3	FDC3 – Sensor superior do atuador hidráulico
	I4	FDC4 – Sensor inferior do atuador hidráulico
	I5	Monitorização da fonte PS3
	I6	Monitorização da fonte PS2
	I7	Não usado
	I8	Não usado
	I9	Não usado
	I10	Não usado
	I11	Não usado
	I12	Não usado
	I13	Não usado
	I14	Não usado
	I15	Não usado
	COM0	Ligado a 0V
	Q0	KUP - Movimento ascendente da mesa intermédia
	Q1	KDOWN – Movimento descendente da mesa intermédia
	Q2	KON – Ligar motor elétrico da central
	Q3	Y1 – Atuação da válvula digital
	COM1	Ligado a 24V
	Q4	RE1 – Monitorização de estado de emergência
	Q5	Não usado
	Q6	Não usado
	Q7	Não usado
	COM2	Ligado a 24V

Réguas de Bornes

Borne		Descrição
X1	R	Fase R
	S	Fase S
	T	Fase T
	N	Neutro
	PE	Terra
X2	U1	Ligação ao motor da central hidráulica
	V1	
	W1	
X3	U2	Ligação ao motor da mesa intermédia
	V2	
	W2	
X4	A	24V DC Analógico
	B	0V DC Analógico
X5	A	24V DC Digital
	B	0V DC Digital
X6	A	24V DC Potência
	B	0V DC Potência
X7	A	24V DC Potência p/ HMI+PLC
	B	0V DC Potência p/HMI+PLC
100		Pino 1 da servo válvula
101		Pino 2 da servo válvula
102		24V DC Potência p/ válvula digital
103		Emergência
104		Transdutor de pressão
105		
134		Transdutor de temperatura
135		
138		Transdutor de deslocamento
139		